



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

VICTOR SOARES GUALBERTO

**BANCADA DE TESTE PARA ENSAIO DE LUBRICIDADE: DESENVOLVIMENTO
DO SISTEMA PARA MEDIÇÃO DO TORQUE E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS**

FORTALEZA

2022

VICTOR SOARES GUALBERTO

**BANCADA DE TESTE PARA ENSAIO DE LUBRICIDADE: DESENVOLVIMENTO
DO SISTEMA PARA MEDIÇÃO DO TORQUE E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Biomassa e Biocombustíveis.

Orientadora: Prof.^a Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G1b Gualberto, Victor Soares.
BANCADA DE TESTE PARA ENSAIO DE LUBRICIDADE: DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA PARA MEDIÇÃO DO TORQUE E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS / Victor Soares Gualberto. – 2022.
65 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Dra. Maria Aleksandra de Sousa Rios.
1. Lubricidade. 2. Four Ball. 3. Timken®. 4. Bancada de teste tribológico. I. Título.
- CDD 620.1
-

VICTOR SOARES GUALBERTO

BANCADA DE TESTE PARA ENSAIO DE LUBRICIDADE: DESENVOLVIMENTO
DO SISTEMA PARA MEDIÇÃO DO TORQUE E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de Concentração: Processos, Equipamentos e Sistemas para Energias Renováveis.

Aprovada em 14/01/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Murilo Tavares de Luna
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Ada Amelia Sanders Lopes
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus.

Aos meus pais, Ronald Gualberto de Lima e
Laura Soares de Lima.

Aos meus irmãos, Lara Regina Soares
Gualberto e Jimmy Soares Gualberto.

Ao meu sobrinho, Orion Soares Gualberto

A minha avó, Maria do Carmo Santiago.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas oportunidades que tive na minha vida.

Aos meus familiares, aos quais dedico este trabalho.

A minha Orientadora Maria Alexandra Sousa Rios, pela oportunidade, pelo crédito, pela paciência, perseverança e dedicação na continuidade e conquistas oriundas deste trabalho.

Aos participantes da banca, Prof.^a Dra. Ada Amelia Sanders Lopes e Prof. Dr. Francisco Murilo Tavares de Luna, pelas correções e sugestões propostas para a melhoria deste trabalho.

Aos meus amigos Raoni Alves de Lima e Francisco Danrley de Lima pelo apoio enorme prestados na construção deste trabalho.

Aos meus amigos Gilderlânio Palácio, pelo constante incentivo, paciência e norteamento, Thaís Rocha, Luana Dantas, Eduardo Graciliano, Sabrina Rodrigues e Ednardo Oliveira Barbosa pelos constantes aprendizados e incentivos.

Aos colegas da turma de mestrado, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Ao Secretário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFC, Valdi Matos, pelo auxílio e paciência em destrinchar todos os problemas burocráticos enfrentados desde o começo do curso.

Ao laboratório Laboratório de Química e Reologia de Ligantes Asfálticos por ceder o reômetro para utilização e ao Laboratório de Pesquisa em Corrosão por emprestar o Microscópio de platina invertida.

Ao aluno Giovane pelo auxílio na operação do Microscópio de Platina Invertida.

O autor e os envolvidos agradecem o apoio financeiro do CNPq (406697/2013-2, 459355/2014-7 e 308280/2017-2), CAPES (Código de Financiamento 001), Funcap (AEP-0128-00220.01.00/17 e DEP-0164-00195.01.00/19) e Finep.

“Stay Hungry, stay foolish – Steve Jobs.”

RESUMO

Durante o funcionamento de todo equipamento mecânico sempre há peças em contato, de forma mais intensa ou menos intensa, onde há necessidade de lubrificação para a redução do desgaste ocasionado pelo contato. Concomitante a essa necessidade de lubrificação, há a busca incessante por combustíveis e lubrificantes renováveis que não sejam prejudiciais ao meio ambiente e, simultaneamente, atendam às necessidades de lubrificação do mercado. Sempre que há o desenvolvimento desses novos compostos, é necessária a realização de testes, dentre eles, o teste tribológico, cujo fim é avaliar a lubricidade do fluido e medir o desgaste das peças que estiverem em contato, e os testes de perda de carga. Portanto, surge também a necessidade do uso de um sistema mecânico capaz de permitir a realização dessas análises juntamente com a variação de parâmetros de teste. Neste trabalho, foram realizados experimentos em uma bancada de teste tribológico configurado como Timken® cujo objetivo é avaliar a lubricidade do lubrificante ou combustível em questão. Esta bancada analisa a lubricidade por meio de um transdutor de torque rotativo de 2 N.m conectado a dois eixos em ambas as extremidades. Para a coleta de dados de torque, foi utilizado um Arduino® Uno. Além disso, também foram realizados testes tribológicos em um reômetro Discovery HR-3, normatizado, configurado com o arranjo *Four Ball* a fim de comparar o desempenho da nova bancada de teste tribológico com uma máquina normatizada. Foram utilizados dois tipos de óleos: óleo mineral SAE 20W50, com aplicação para lubrificação de motores quatro tempos monocilíndricos de motocicletas e óleo sintético SAE 5W40 cuja aplicação é recomendada à lubrificação de motores de motocicletas de alto desempenho de quatro tempos. Foi verificado que o óleo mineral, para o teste efetuado, na máquina desenvolvida, apresentou os menores valores de torque, 0,14 N.m, sendo que o óleo sintético apresentou um valor de torque de 0,24 N.m, devido sua espessa camada protetora entre as superfícies em contato oriunda, principalmente, da sua maior viscosidade comparada ao óleo sintético. Além disso, as amostras lubrificadas com o óleo mineral também apresentaram menores valores de desgaste em comparação com o óleo sintético, sendo de 203,64 μm para as amostras lubrificadas com óleo mineral e 238 μm para as amostras lubrificadas com o óleo sintético. Já para os testes realizados no reômetro configurado com o *Four Ball*, as amostras de óleo mineral apresentaram torque e desgaste no valor de 17549,4 $\mu\text{N.m}$ e 209,89 μm , respectivamente, contra 17579,8 $\mu\text{N.m}$ e 224,45 μm , respectivamente, do óleo sintético. Outrossim, a nova bancada de testes apresentou o óleo mineral como o óleo, de acordo com as condições de teste e de acordo com o propósito do estudo, de melhor desempenho de lubricidade, devido às suas propriedades físico-químicas, assim como a máquina normatizada com a configuração *Four Ball*.

Palavras-chave: Lubricidade. Four Ball. Timken®. Bancada de teste tribológico.

ABSTRACT

During the operation of all mechanical equipment, there are always parts in contact, more or less intensively, where there is a need for lubrication to reduce the wear caused by contact. Concurrent with this need for lubrication, there is an incessant search for renewable fuels and lubricants that are not harmful to the environment and, at the same time, meet the market's lubrication needs. Whenever there is the development of these new compounds, it is necessary to carry out tests, among them, the tribological test, whose purpose is to evaluate the fluid lubricity and measure the wear of the parts that are in contact, and the pressure drop tests. Therefore, there is also a need to use a mechanical system capable of allowing these analyzes to be carried out together with the variation of test parameters. In this work, experiments were carried out on a tribological workbench configured as Timken® whose objective is to evaluate the lubricity of the lubricant or fuel in question. This bench analyzes the lubricity using a 2 N.m rotary torque transducer connected to two shafts at both ends. For the collection of torque data, an Arduino® Uno was used. In addition, tribological tests were also carried out on a Discovery HR-3 rheometer, standardized, configured with the Four Ball arrangement in order to compare the performance of the new tribological workbench with a standardized machine. Two types of oils were used: mineral oil SAE 20W50, used for lubricating single-cylinder four-stroke motorcycle engines, and synthetic oil SAE 5W40, whose application is recommended for lubricating high-performance four-stroke motorcycle engines. It was verified that the mineral oil, for the test carried out, in the machine developed, presented the lowest torque values, 0.14 Nm, and the synthetic oil presented a torque value of 0.24 Nm, due to its thick protective layer between the surfaces in contact, mainly due to its higher viscosity compared to synthetic oil. In addition, samples lubricated with mineral oil also showed lower wear values compared to synthetic oil, being 203.64 μm for samples lubricated with mineral oil and 238 μm for samples lubricated with synthetic oil. As for the tests carried out in the rheometer configured with the Four Ball, the mineral oil samples showed torque and wear in the value of 17549.4 $\mu\text{N.m}$ and 209.89 μm , respectively, against 17579.8 $\mu\text{N.m}$ and 224.45 μm , respectively, of synthetic oil. Furthermore, the new workbench presented the mineral oil as the oil, according to the test conditions and according to the purpose of the study, with better lubricity performance, due to its physicochemical properties, as well as the standardized machine with the Four Ball configuration.

Keywords: Lubricity. Four Ball. Timken®. Tribological workbench.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Regimes de lubrificação.....	19
Figura 2 – Arranjo das superfícies no teste BOR	22
Figura 3 - Arranjo dos anéis e escovas no Transdutor rotativo	26
Figura 4 - Placa Arduino® UNO	31
Figura 5 - Transdutor de torque rotativo MT-102	32
Figura 6 - Bancada de Teste.....	33
Figura 7 - Configuração Four Ball	34
Figura 8 - Inserção do óleo no Reômetro FB	35
Figura 9 - Microscópio de Platina Invertida.....	36
Figura 10- Esquema eletrônico do sistema de coleta de dados	37
Figura 11 - Circuito eletrônico de coleta de dados	38
Figura 12 - Corpos de prova fixos antes e após o processo de acabamento superficial.....	39
Figura 13 - Fluxograma do teste de Lubricidade.....	40
Figura 14 - Diagrama esquemático do equipamento de contato pino no disco.....	42
Figura 15 - Bancada de testes.....	43
Figura 16 - Diagrama esquemático do equipamento de contato BC.....	44
Figura 17 - Micrografias Óleos A e B com 5 (kgf) de carga	48
Figura 18 - Micrografias Óleos A e B com 10 (kgf) de carga.	48
Figura 19 - Micrografias Four Ball.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de perdas por atrito em um veículo	21
Gráfico 2 – Torque no teste BC com 15 minutos de teste.	45
Gráfico 3 – Valores de torque com máquina FB durante 15 minutos de teste.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio e contatos de Lubricidade.....	22
Tabela 2 - Propriedades dos óleos analisados.....	34
Tabela 3 - Parâmetros de teste para o ensaio Bloco no Cilindro (BC) baseados em (SINGH; GOEL, 2018).	40
Tabela 4 - Parâmetros de teste para o ensaio Four Ball.....	41
Tabela 5 - Relação entre Diâmetro do corpo de prova e velocidade tangencial no ponto de contato entre as superfícies.....	44
Tabela 6 - Dados colhidos durante 900 segundos (teste completo).....	46
Tabela 7 - Dados colhidos a partir de 250 segundos de execução do teste	46
Tabela 8 - WSD para ensaios BC 5 (kg) e 10 (kg)	48
Tabela 9 - Valores de Torque para Four Ball	49
Tabela 10 – Diâmetro da ranhura de desgaste (μm) para o teste por FB.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivos Gerais.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Lubrificação.....	17
3.1.1 Viscosidade	17
3.1.2 Regimes de lubrificação	18
3.2 Testes tribológicos.....	20
3.3 Green tribology.....	24
3.4 Arduino.....	25
3.5 Transdutor de torque.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Materiais.....	30
4.1.1 Arduino®.....	30
4.1.2 Transdutor de torque.....	31
4.1.3 Bancada de teste.....	32
4.1.4 Corpos de Prova para o ensaio Bloco no Cilindro (BC).....	33
4.1.5 Óleos Utilizados.....	33
4.1.6 Triboteste de referência – Fourball (FB).....	34
4.1.7 Microscópio.....	35
4.2 METODOLOGIA.....	36
4.2.1 Parâmetros do teste tribológico.....	36
4.2.3 Preparação dos corpos de prova para o ensaio BC.....	38
4.2.4 Procedimento para realização dos testes.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41

5.1 Projeto e construção do Protótipo.....	41
5.2 Avaliação do dispositivo configurado com BC	45
5.3 Avaliação pelo Four Ball	49
6. CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE A – ALGORITMO CARREGADO NO ARDUINO PARA LEITURA DOS DADOS DO TRANSDUTOR DE TORQUE E DE TEMPERATURA.....	59
APÊNDICE B – TORQUE NO TESTE BC COM 15 MINUTOS DE TESTE	62
APÊNDICE C – VALORES DE TORQUE COM MÁQUINA FB DURANTE 15 MINUTOS DE TESTE.....	63

1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia impulsionou a exploração do petróleo e a queima de combustíveis fósseis. Em consequência, há um aumento da poluição, o que prejudica a saúde humana e o meio ambiente. Depois do Tratado de Kyoto, que visa a redução da emissão dos gases do efeito estufa, busca-se uma independência de recursos oriundos do petróleo (SINGH; GOEL, 2018).

Uma das saídas encontradas foi a busca por combustíveis que não estivessem ligados com a matriz petrolífera e que, de preferência, quando queimados, reduzissem os impactos ambientais, como por exemplo, o efeito estufa. Segundo (SUDAN REDDY DANDU; NANTHAGOPAL, 2019), o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e seu impacto ambiental exige uma enorme demanda por biocombustíveis em todo o mundo.

Assim, como houve mudanças na matéria-prima para biocombustíveis, também houve interesse pela pesquisa de lubrificantes à base de óleos vegetais e gorduras animais e de óleos sintéticos, em contraposição aos já popularizados óleos minerais, oriundos do petróleo, proporcionando mais um recurso independente do petróleo. Além disso, as fontes de biolubrificantes são baratas, ecológicas e oferecem uma boa alternativa às fontes convencionais de óleo mineral (OWUNA et al., 2020).

Como resultado da busca pela independência do petróleo e pelas vantagens oferecidas pelos biolubrificantes, o mercado global desses óleos de origem renovável deve crescer a uma taxa anual composta de 5,4% entre 2016 e 2024 (HO; MCAULEY; PEPPLEY, 2019).

Todo óleo tem como objetivo principal reduzir o atrito entre duas superfícies em contato entre si e com movimento relativo. Boa parte dos biolubrificantes e óleos sintéticos são novos, fazendo com que algumas de suas propriedades não sejam muito bem conhecidas, podendo-se destacar a lubricidade, característica essa, fundamental na avaliação da capacidade de lubrificação do óleo (WILBERT J. OLDS, 1973).

Uma forma de se fazer a avaliação da lubricidade é através de testes de desgaste. A consideração mais importante para a seleção de um lubrificante é que ele atenda aos requisitos de lubrificação de uma aplicação específica, especialmente em seus aspectos tribológicos (CHAN et al., 2018; GUALBERTO et al., 2020).

A fim de atender a essa demanda por teste de lubricidade de novos lubrificantes e combustíveis, uma vez que esta é uma característica bastante importante de um óleo lubrificante

e por ser desconhecidas nos novos fluidos lubrificantes, houve a motivação para o início do projeto e da fabricação de uma nova bancada de testes tribológicos produzida com materiais de baixo custo. Porém, como é uma bancada de testes nova, precisa-se da execução de testes a fim de comparar seu desempenho com o de uma máquina normatizada. Por isso, houve a execução de testes tribológicos nessa nova bancada de testes e na máquina normatizada configurada em *Four Ball* (FB) a fim de se realizar a validação da nova bancada, utilizando óleo mineral e óleo sintético.

Os resultados obtidos mostram que o óleo mineral, principalmente por possuir maior viscosidade, apresentou melhor desempenho de lubricidade em comparação com o óleo sintético utilizado. Além disso, esse mesmo resultado foi obtido com os testes executados na máquina normatizada, mostrando que a nova bancada de testes é capaz de realizar ensaios tribológicos válidos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver o sistema para medição do torque em Arduino® e validar a bancada de testes por meio dos resultados obtidos no reômetro Discovery HR-3.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar medição do torque no motor elétrico devido ao atrito entre os corpos de prova e o óleo analisado
- Desenvolver o sistema para medição do torque em Arduino®
- Realizar micrografias dos corpos de prova
- Medir as ranhuras dos corpos de prova
- Validar a nova bancada de testes

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Lubrificação

De um modo geral, a lubrificidade está associada à formação da camada de lubrificação em superfícies deslizantes. A alta lubrificidade reduz os contatos diretos entre as superfícies e, portanto, reduz o atrito e a perda de energia (SRIVASTAVA, 2009).

Sempre que houver contato entre as superfícies durante a atividade de deslizamento, existe a possibilidade de produzir três tipos de desgaste mecânico: abrasão, aderência e fadiga (KIM; JIANG; ASWATH, 2011).

O desgaste abrasivo é produzido através da remoção de um certo volume de material por asperezas duras na superfície em movimento. O desgaste adesivo, por fixação de resíduos de desgaste, é o resultado de deformação plástica e forte ligação dos materiais da interface. Já o desgaste por fadiga é devido ao enfraquecimento dos materiais de superfície após contato repetido, com alta tensão local, repetidas vezes (STACHOWIAK, 2013).

De acordo com (CHAN et al., 2018), as características mecânicas de um sistema tribológico podem ser descritas como a dureza dos materiais em contato, a rugosidade das superfícies, a geometria de contato e o mecanismo de deslizamento da parte que interage e de sua parte oposta. Um valor mais alto de dureza fornece uma menor taxa de desgaste, enquanto um valor mais baixo de rugosidade fornece melhor lubrificação (OMRANI et al., 2016).

Tendo em vista as propriedades físicas dos lubrificantes, a viscosidade e sua relação com a temperatura e a pressão são as principais propriedades responsáveis pela espessura do filme de óleo e pelo desempenho da lubrificação. O lubrificante mais viscoso cria uma camada de lubrificação mais espessa separando totalmente e de forma mais fácil, dependendo da aplicação, as asperezas das superfícies. Por outro lado, um fluido viscoso peca em oferecer maior resistência ao fluxo, dissipando energia nesse aspecto, principalmente em altas velocidades, fazendo com que a escolha do lubrificante mais adequado oscile entre melhor lubrificidade a determinadas condições de velocidade e cargas e a economia de energia (RUDNICK, 2013).

3.1.1 Viscosidade

A viscosidade de um lubrificante é uma característica bastante importante, pois a depender do seu valor, há grande influência na lubrificação do sistema, podendo modificar o regime de lubrificação do sistema.

De acordo com (ÇENGEL; CIMBALA, 2015) a viscosidade representa a resistência interna de um fluido ao movimento. Basicamente, é uma medida do fluido relacionada a sua resistência à deformação. Quando o fluido escoar, camadas diferentes do fluido se movem uma em relação às outras, sendo a viscosidade resultante das perdas de carga entre as moléculas das diferentes camadas. Com isso, quanto mais viscoso é o fluido, maior é a sua resistência ao escoamento. A viscosidade não é um parâmetro constante. Para fluidos líquidos a viscosidade é inversamente proporcional ao parâmetro de temperatura e proporcional ao parâmetro de pressão. Para pressões bastante elevadas, a viscosidade aumenta com o aumento do parâmetro de pressão. Já para baixas pressões, a variação na viscosidade é desprezível.

A viscosidade dinâmica para líquidos pode ser quantificada de forma aproximada por meio da Equação 1.

$$\mu = a10^{\left(\frac{b}{T-c}\right)} \text{ (ÇENGEL; CIMBALA, 2015)} \quad (1)$$

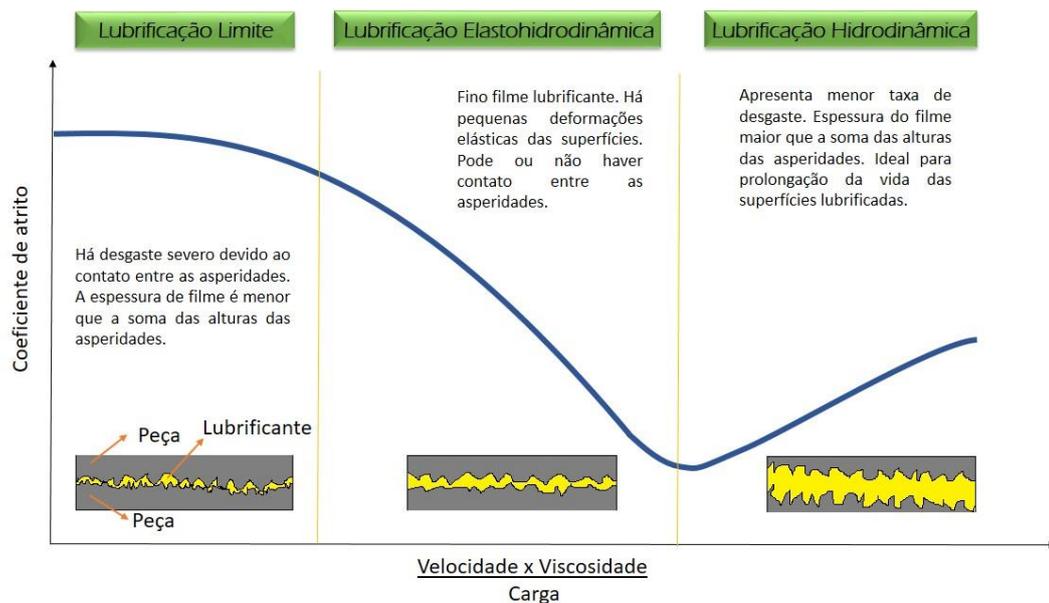
Onde μ representa a viscosidade (kg/m.s), T representa a temperatura absoluta e a, b e c são constantes determinadas experimentalmente.

De acordo com (STABELINI, 2019), quanto mais viscoso o fluido, mais resistente será sua película de filme. Isso permite que as superfícies fiquem afastadas, sem encostar suas asperezas, reduzindo bastante o desgaste. Entretanto, maior a resistência ao escoamento é oferecida pelo fluido, sendo necessária maior potência para movimentar as peças lubrificadas.

3.1.2 Regimes de lubrificação

Segundo (GUALBERTO et al., 2020; MARU; TANAKA, 2007) existem três regimes de lubrificação, são eles: lubrificação limite, lubrificação mista e lubrificação hidrodinâmica. Esses regimes de lubrificação são representados pela curva de Stribeck mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Regimes de lubrificação



Fonte: Autor.

A lubrificação limite ou lubrificação de contorno as asperezas das superfícies entram em contato. Isso pode ser devido a carga excessiva, a má condição da superfícies (asperezas elevadas) ou lubrificante insuficiente (NORTON, 2013). Todas as superfícies são "ásperas" na escala microscópica. O atrito entre dois corpos em contato físico é dominado por interações entre os pontos altos, ou asperidades, nas superfícies de contato (HSIEH; BRUNO, 2015). Como a espessura do filme nesse regime é menor que a rugosidade da superfície, a presença de aditivos na superfície é vital para proteger as superfícies de contato contra danos causados pelo contato entre as superfícies (HAMROCK; DOWNSON, 1981).

Ao aumentar a velocidade, o regime de lubrificação passa a ser misto, apresentando uma queda brusca no atrito até um ponto mínimo. Nesse estágio as asperezas estão quase totalmente separadas por um filme de lubrificante, mas ainda há contato entre as asperezas (NORTON, 2013).

Com o aumento da velocidade o regime de lubrificação evolui para o regime de lubrificação hidrodinâmica. Nesse estágio, as asperezas são totalmente separadas pelo filme de lubrificante, não havendo contato. Nesse ponto há o menor atrito possível no sistema. Com o aumento da velocidade e o atrito associado é dominado pelo arrasto viscoso e pela resistência do lubrificante em relação a si mesmo e a superfície (STACHOWIAK, 2013).

3.2 Testes tribológicos

Testes tribológicos são desenvolvidos e utilizados com alguns objetivos. Dentre eles, pode-se citar: Avaliar o desgaste entre duas superfícies em contato com deslizamento. O lubrificante é um elemento muito utilizado em sistemas mecânicos com a finalidade de impedir ou reduzir a intensidade do contato entre duas superfícies, conseqüentemente, reduzindo seu desgaste.

Com o desenvolvimento de novas técnicas de extração para obtenção de petróleo bruto e a capacidade de refinar esse óleo, a avaliação da lubricidade de lubrificantes tornou-se mais comum. Devido a crescente e ampla aplicação dos lubrificantes, os lubrificantes se tornaram mais amplamente utilizada, surgiu a necessidade de tecnologia para avaliar as diferenças nas propriedades entre diferentes lubrificantes em aplicações variadas (ANDERSON; SCHMIDT, 2003).

Os testes tribológicos não são utilizados apenas na avaliação de lubricidade de fluidos. (HATTORI et al., 2016) avaliaram as propriedades tribológicas do revestimento de nitreto de carbono com deposição realizada por deposição de ar filtrado e feixe de íon de nitrogênio, em comparação com o revestimento macio de nitreto de carbono sem deposição. Com isso, os tribômetros, mesmo que durante o teste haja a presença de um lubrificante, também pode ser utilizado para avaliar qualidade de processos para modificação de características das superfícies analisadas, ampliando ainda mais sua aplicação.

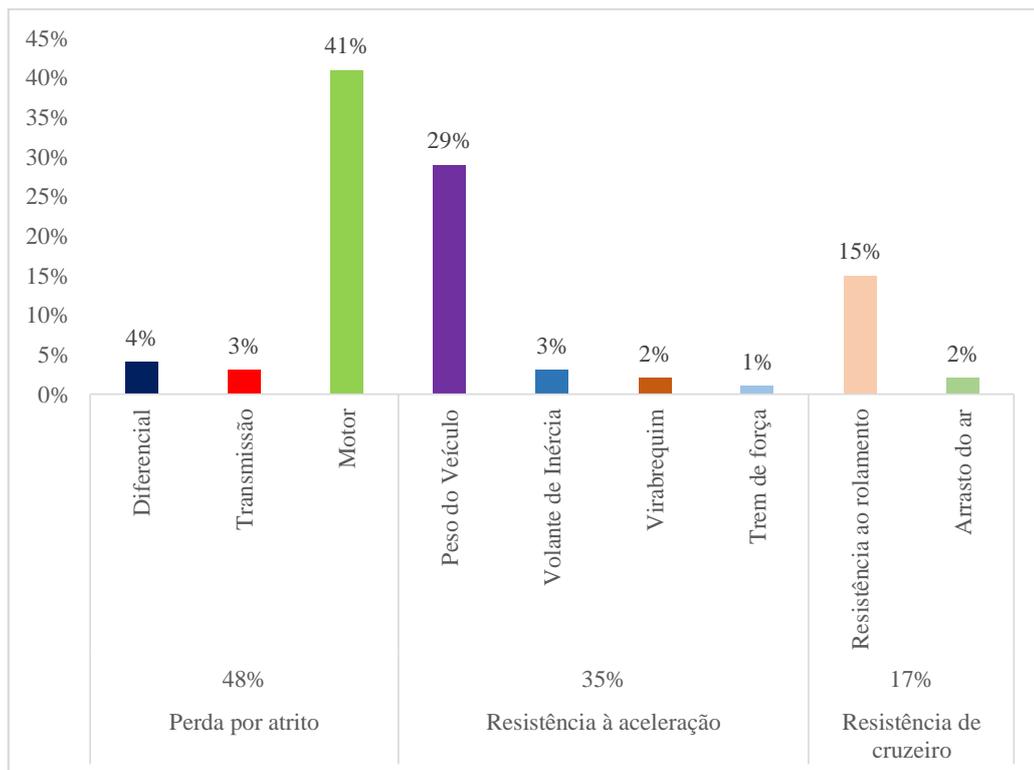
Apesar da sociedade estar buscando se desvincular dos motores de combustão interna, isso não reduz a importância de análises tribológicas no futuro, como muitos pensam. De acordo com (HOLMBERG; ERDEMIR, 2019) cerca de 57% da energia elétrica total fornecida a um veículo elétrico, movido a baterias de lítio e com sistema de recuperação de energia, é utilizada para suprir as perdas por atrito. Nesses carros, onde a autonomia ainda é uma das maiores dificuldades, qualquer redução que se obtenha na perda de energia por atrito se converte em aumento da autonomia, mostrando grande importância da tribologia nesses veículos.

(FARFAN-CABRERA, 2019) apresentou diversas partes móveis presentes em veículos elétricos que merecem atenção da tribologia. Pode-se citar: motor elétrico, transmissão, sistema de direção, pneus, rolamentos, juntas homocinéticas, sistema de recuperação de energia cinética, dispositivos de conforto e segurança, suspensão e micro sistemas eletro-mecânicos.

Com isso, a principal tarefa dos pesquisadores da área de tribologia é reduzir ao máximo o atrito e o desgaste de todos os componentes deslizantes com lubrificação eficaz e adequada (SUDAN REDDY DANDU; NANTHAGOPAL, 2019).

De acordo com (TUNG; MCMILLAN, 2004) 48% da energia gerada em um motor de combustão interna é consumida sob a forma de atrito, o que inclui atrito na saia do pistão, anéis do pistão, rolamentos, virabrequins, trens de válvulas e transmissão etc. O Gráfico 1 apresenta a distribuição dessas perdas em um motor a combustão interna.

Gráfico 1 - Percentual de perdas por atrito em um veículo

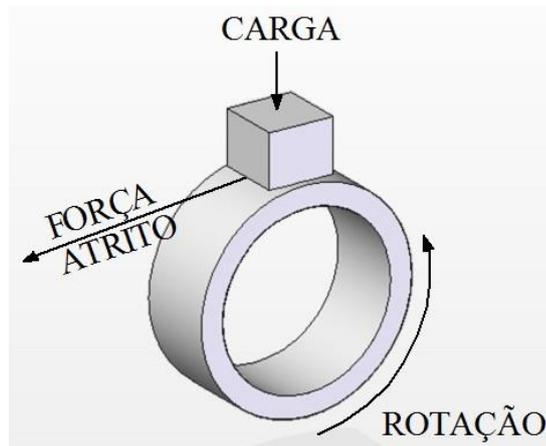


Fonte: DANDU e NANTHAGOPAL (2019, com adaptações).

Para ter esse conhecimento, foram desenvolvidos testes a fim de avaliar o desgaste entre essas superfícies. Dentre esses testes, pode-se citar o *Block-on-Ring* (BOR).

BOR é principalmente utilizado para medições de taxa de desgaste e classificar materiais em relação a sua resistência ao movimento de deslizamento puro (GUALBERTO *et al.*, 2020). O método mais utilizado para mensuração do desgaste é a medição do volume perdido devido ao desgaste. (ANDERSON e SCHMIDT, 2003). A Figura 2 apresenta um esquema do arranjo das superfícies pelo teste BOR.

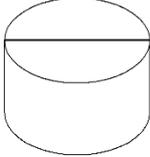
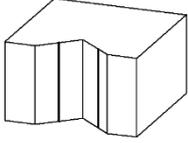
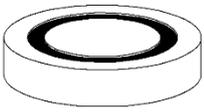
Figura 2 – Arranjo das superfícies no teste BOR

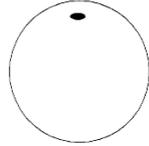
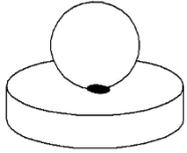


Fonte: Gualberto *et al.*(2020, p.9).

Além do BOR, existem vários modelos de testes para avaliação da interação entre superfícies, principalmente com a presença de lubrificante, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaio e contatos de Lubricidade

Ensaio	T	V	C	M	CPD	E	Contato de desgaste
Bloco no Cilindro BC	10 a 9999 minutos	1000 a 1500 (rpm)	1 a 10 (kg)	Motor de passo de controle de loop fechado aplicada força de ensaio	Quadrado: 12,32 (mm) 19,05 (mm) ----- Cilindro: Diâmetro 49,22 (mm)	ASTM D 2782 Timken	 1 Linha
Pino e Bloco v	10 a 240 minutos	0,502 (m/s)	1 a 12 (kg)				 2 linhas
Pino no disco	10 a 60 minutos	0,4 a 4 (m/s)	1 a 12 (kg)				

							Um disco
Four Ball FB	1 hora	1000 a 3000 (rpm)	1 a 40 (kg)	1,5 (kW) ou (2cv)	Esferas Aço cromo Diâmetro de 12,7 (mm)	ASTM D2266, D2596, D2783, D4172, D5183, IP 239	 Uma região circular 0,1 a 1 (mm) de diâmetro
Contato Linear Alternativo	1 a 2 horas	10 a 200 (Hz)	0,1 a 1 (kg)	Motor de Frequência variável de 10 Hz a 200 Hz via software	disco: 10 (mm) de diâmetro e 3 (mm) de espessura esfera de 6 (mm) de diâmetro	ASTM D6079, D7688; ISO 12156; IP 450; EN 590; CEC F-06-A	 20 (µm) a 2 (mm) de comprimento

Legenda: T – tempo de Duração, V - Velocidade ou frequência, C – Carga, M - Motor de acionamento, CPD – Corpo de prova e dimensão, E – Especificações

Fonte: Adaptado de GUALBERTO ET AL. 2020.

Com o resultado dos testes em mãos, o projetista tem conhecimento de como as superfícies interagem e pode tomar decisões importantes para aumentar a durabilidade do sistema e redução do desgaste devido ao contato durante movimento relativo das superfícies. Dessa forma, as bancadas permitem uma avaliação mais diversificada em contraste com os testes em campo, que permitem estudo apenas da aplicação em específico (VOITIK, 1993).

(CAVALCANTI, 2014) usou o BOR para avaliação do óleo de carnaúba em comparação com óleo comercial multiviscoso SAE 10W30 API SM. Em seu trabalho, Cavalcanti (2014) ensaiou cada amostra por duas horas ininterruptas, a uma rotação de 1500 (rpm) aplicando uma carga de 1,2 (N) com gotejamento do óleo na taxa de 1 (gota/min).

Partindo do princípio de que uma das funções do lubrificante é retirar calor da zona em atrito, conseqüentemente, quanto maior a sua temperatura durante o ensaio, maior é o atrito proveniente da região de contato entre as superfícies. Pensando nisso, Cavalcanti (2014) mediu a temperatura do óleo para ter uma base da lubricidade do óleo testado.

Como resultado relativo à análise tribológica, Cavalcanti (2014) observou que a temperatura do óleo de carnaúba durante o ensaio apresentou menor valor em relação ao óleo comercial sob as mesmas condições de ensaio as que o óleo de carnaúba foi submetido. Isso

mostra que o óleo de carnaúba lubrificou melhor o sistema tribológico em relação ao óleo comercial.

Além disso, Cavalcanti (2014) também mediu a massa das amostras antes e após o ensaio. A amostra que apresentou maior diferença de massa, significa que essa amostra perdeu mais massa, logo, foi submetida a um atrito maior consequência de um sistema com menor lubricidade. Nesse estudo, as amostras lubrificadas com óleo de carnaúba apresentaram menor variação de massa, evidenciando a maior lubricidade do óleo de carnaúba em relação ao óleo comercial.

3.3 Green tribology

Green Tribology (GT) é um termo que se refere à ciência e tecnologia dos aspectos tribológicos e seus impactos ambientais e biológicos (JOST, 2009).

Em 2001 o pesquisador Si-wei Zhang utilizou em um trabalho o termo “*Green Tribology*”, termo este nunca antes utilizado em outro trabalho acadêmico para tratar do tema (ZHANG, 2001).

Por ser um termo novo, ainda não possui uma definição concretizada. O próprio pesquisador Si-Wei Zhang decidiu escrever um artigo para explicar os fundamentos básicos e direções de desenvolvimento da “*Green Tribology*”. Para Zhang (2013), os principais objetivos da GT são “Controlar o atrito, reduzir o desgaste e melhorar a lubrificação”. Com isso, pode-se concluir que, de modo geral, os principais objetivos da GT é economizar energia e material de modo a atingir uma sociedade mais sustentável. Sendo assim, pode ser resumida em 3Bs e 1A: baixo consumo de energia, baixa emissão de CO₂, baixo custo ambiental e alta qualidade de vida (ZHANG, 2013).

(NOSONOVSKY; BHUSHAN, 2010) definiram GT como sendo uma área de estudo separada da tribologia e é definida como sendo uma ciência e tecnologia de aspectos tribológicos de balanço biológico, ambiental e impacto ecológico”. Além disso, criaram os doze princípios da GT. São eles: Minimização do calor e dissipação de energia, minimização do desgaste, redução ou eliminação completa da lubrificação ou autolubrificação, lubrificação natural, lubrificação biodegradável, princípios da química sustentável e engenharia verde, abordagem biomimética, textura da superfície, implicações ambientais, projeto de degradação, monitoramento em tempo real e aplicações da energia sustentável.

Com base nas principais referências da área, o termo GT relaciona claramente a tribologia com um objetivo de economizar energia – reduzindo o impacto na natureza em

relação a exploração de recursos energéticos e emissão de gases intensificadores do efeito estufa em consequência do aumento da eficiência de operação – e na redução no uso de materiais – se reduzir o desgaste, há redução da necessidade de substituição e novas peças e com isso há uma redução na pressão por exploração de minérios e outros materiais não renováveis.

Observando o exposto acima, fica claro a ligação da necessidade da avaliação do desgaste e, conseqüentemente, lubricidade dos óleos e combustíveis, o qual é discutido mundialmente e faz parte de uma ideia de mundo sustentável, tema este que preocupa boa parte da população mundial, sendo impulso base de várias novas tecnologias, como por exemplo, as fontes de energias renováveis.

3.4 Arduino

As placas Arduino são pequenos circuitos eletrônicos, incluindo microcontrolador AT-mega e outros componentes eletrônicos. A idéia básica do Arduino é baseada no aspecto de que ele é um dispositivo de código aberto e disponível para todos os interessados em desenvolver novos projetos. O Arduino também conta com um ambiente de comunicação com o usuário, conhecido como IDE (*Integrated Development Environment*), sendo de fácil instalação e uso (OCAK, 2017).

De acordo com (HIBBELER, 2009) o desenvolvimento de micro controladores e computadores de placa única permitiram acesso a uma grande variedade de experimentos de baixo custo, principalmente em projetos de bancada de teste.

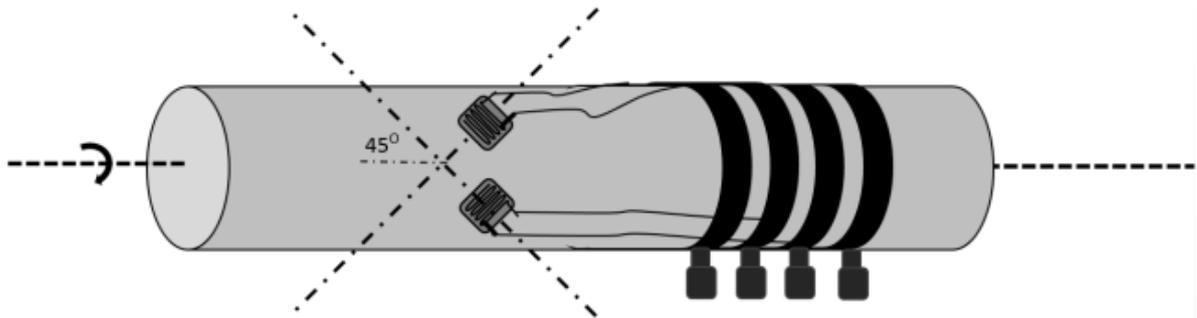
O Arduino® basicamente funciona em duas partes. Uma é a IDE e a outra é a placa que contém o micro controlador e os circuitos eletrônicos.

A placa Arduino® funciona como um elemento intermediário em um sistema. Basicamente a placa recebe informação de sensores. Através da IDE, o Arduino® interpreta esses dados e envia sinais eletrônicos, pré-programados pelo usuário, para os elementos de saída (atuadores) (BANZI; SHILOH, 2014).

3.5 Transdutor de torque

Segundo (BORGES, 2007), os anéis coletores são arrançados radialmente ao eixo em rotação os quais são conectados constantemente à escovas de grafite, permitindo a coleta de sinal mesmo com o eixo em rotação. A Figura 3 apresenta um desenho do arranjo dos anéis e escovas no transdutor rotativo.

Figura 3 - Arranjo dos anéis e escovas no Transdutor rotativo



Fonte: Borges (2007), p. 11.

Infelizmente, esse sistema apresenta alguns inconvenientes. Dentre eles, pode-se citar, como exemplo, o desgaste apresentado pelas escovas devido ao contato constante e seu consequente aquecimento. Com isso, há redução da confiabilidade do equipamento, devido ao ruído presente na zona de contato das escovas com os anéis. Além disso, o sistema fica instável com a presença de vibrações e elevadas rotações (BORGES, 2007).

O consumo de energia por atrito é tão significativo que, aproximadamente, de um terço a metade da energia produzida no mundo é consumida pelo atrito (MARU et al., 2014). Em um automóvel, por exemplo, o combustível deve apresentar boa lubrificidade, pois protege as superfícies das peças móveis em contato, elevando sua vida útil e reduzindo o consumo energético (SUDAN REDDY DANDU; NANTHAGOPAL, 2019). Por esses fatores, o uso de ensaios tribológicos se faz necessário para alcançar maior eficiência energética.

Os ensaios tribológicos consistem em meios de se avaliar o desgaste entre duas superfícies com movimento relativo entre si. Os meios mais comuns de se fazer essa análise é mensurar o torque no sistema mecânico entre as superfícies analisadas, a perda de massa das superfícies, a profundidade das ranhuras da região de contato, a temperatura das superfícies ou do fluido em contato com as superfícies e a concentração de partículas das superfícies contidas no fluido lubrificante em análise. Quanto maior a unidade de medida desses fatores, maior será o atrito existente no contato das superfícies e menor será a lubrificidade do fluido em questão.

Ao realizarem um levantamento bibliográfico apresentando diversas metodologias de ensaios tribológico mais comumente utilizados pelos pesquisadores. É possível perceber que os testes tribológicos podem ser utilizados para diversas finalidades, uma vez que cada ensaio, a depender da configuração do equipamento, é capaz de melhor representar o comportamento

do material analisado nas suas condições de funcionamento real, havendo, portanto, melhor predição do comportamento do desgaste (GUALBERTO et al., 2020).

É prática comum, quando se quer avaliar a lubricidade de fluidos quanto ao desempenho de revestimentos de superfícies, executar ensaios tribológicos, dessa forma foi utilizado o tribômetro do tipo *roll-block* para encontrar formatos e materiais de superfícies que proporcionem maior vida útil de um motor de combustão interna de quatro tempos. Com isso amostras com diferentes concentrações de pós de diamante a fim de avaliar o nível de desgaste em comparação com superfícies endurecidas. Foi medido a força de atrito e a profundidade das ranhuras e foi percebido que pequenas variações nos componentes dos materiais proporcionava grandes diferenças de desempenho tribológico e que anéis de vedação do pistão cobertos com derivados de diamante podem ser mais resistentes ao desgaste quando comparados aos mesmos anéis com revestimentos comumente endurecidos, pois apresentam baixo coeficiente de fricção e alta resistência ao desgaste (KAZMIERCZAK, 2021).

Para avaliar o comportamento e o efeito no desgaste de amostras devido à diferentes concentrações de grafeno presentes no óleo lubrificante SAE 10W-30, utilizaram o tribômetro Pin-on-Disk com alta carga aplicada e baixa velocidade. Após a medição das profundidades das ranhuras deixadas nos corpos de prova por meio de um microscópio eletrônico de varredura e de um medidor de superfície em três dimensões, eles concluíram que o óleo 10W-30 com adição de 0,05 (wt%) de grafeno apresentou o menor coeficiente de fricção, o menor desgaste específico e as ranhuras menos profundas, concluindo, assim, que essa é a concentração ideal para a redução do desgaste nas condições testadas (WANG et al., 2019).

Por sua vez, (PATIL et al., 2021) utilizaram *Four Ball tester*, *pin-on-roller tester* e *bearing test rig* para avaliar Polyisobutylene como um responsável de melhorar o índice de viscosidade. O uso de Polyisobutylene permite que o óleo tenha alta viscosidade em altas temperaturas, reduzindo as ocorrências de atrito seco e permite que, em baixas temperaturas, o óleo flua com facilidade atingindo rolamentos, por exemplo. Eles descobriram que a habilidade do Polyisobutylene em reduzir o atrito entre as superfícies é extremamente dependente da concentração do polímero nas misturas com óleo parafínico de baixa viscosidade N150. A concentração com menor coeficiente de atrito, e, conseqüentemente, com menor desgaste encontrado, foi de 15% de Polyisobutylene (PATIL et al., 2021).

(FARFAN-CABRERA et al., 2020) utilizaram o modelo tribológico caracterizado como ball-on-disk para avaliar a influência do envelhecimento térmico do óleo lubrificante de

motor na lubricidade do mesmo. (FARFAN-CABRERA et al., 2020) utilizaram óleo lubrificante mineral e uma mistura desse óleo com óleo de jatropha em concentração em volume de 20% deste e 80% daquele. Notaram que houve um aumento da viscosidade que proporcionou uma redução da taxa de desgaste quando a mistura com óleo de jatropha foi utilizado. Dessa forma, a mistura de óleo de jatropha com óleos minerais pode proporcionar um aumento da vida útil dos componentes mecânicos lubrificadas com esses componentes.

(LAPUERTA et al., 2016) Avaliaram a influência que a umidade e a quantidade de água no biocombustível pode ter na sua lubricidade, utilizando o teste tribológico HFRR (High Frequency Reciprocating Rig). Além disso (LAPUERTA et al., 2016) provaram que o fator de conversão proposto pelo padrão europeu é falho, uma vez que o fator de correção da umidade varia a depender da composição do combustível. Dessa forma, foi possível normalizar o fator de correção e associá-lo a profundidade das ranhuras das amostras.

(HUDEDAGADDI et al., 2017) realizaram análises tribológicas para avaliar a influência da quantidade de água em biodiesels e em graxas de sulfonato de cálcio. Para a realização desse estudo, eles utilizaram o *Four Ball (FB) Tester*, utilizado nas análises com a graxa, e o HFRR para analisar o biodiesel. Eles perceberam que a medida que a concentração e água na graxa aumenta, aumenta também o atrito presente no sistema devido à baixa mistura do óleo que ocorre por causa do aumento da estabilidade da emulsão proporcional ao aumento da quantidade de água. Já o Biodiesel, analisado pelo HFRR, a influência da quantidade de água é devido porque as moléculas dessa substância interage com as moléculas polares do biodiesel, reduzindo sua atividade. Com isso, o biodiesel tem sua lubricidade reduzida, provocando aumento do desgaste do sistema. Portanto, é necessário analisar com cautela os componentes e o ambiente de utilização de graxas e biocombustíveis, a fim de obter taxas de desgaste mínimas.

(SINGH; GOEL, 2018) analisaram a lubricidade de diferentes misturas de óleo de cozinha queimado Waste Cooking Oil - WCO com o óleo mineral SAE20W40 utilizando o HFRR e o *Pin-On-Disk Test*. Eles perceberam que a mistura que apresenta a menor taxa de desgaste era a que estava lubrificada com uma proporção de mistura de 20% de WCO. A mistura de 10% de WCO apresentou baixos coeficiente de fricção, em comparação com o óleo lubrificante puro, devido à grande afinidade das moléculas de metylester com a superfície metálica e devido às suas propriedades anphiphilicproperties. Com isso, forma-se uma camada estável de lubrificante que permite a redução do contato das superfícies metálicas, reduzindo o desgaste. Já para as misturas acima de 20% de WCO apresentaram elevadas taxas de desgaste. Os autores atribuíram esse comportamento devido à alta instabilidade química dos

biolubrificantes a altas temperaturas, apresentando oxidação de alguns de seus componentes, produzindo ácidos corrosivos que reduzem a lubricidade da mistura.

Por sua vez, (SRINIVAS et al., 2020) investigaram o efeito, com relação o desgaste, da influência da mistura de óleo mineral com Tri-methylolpropane (TMP) ester, Pentaerythritol (PE) ester derivado da Calophyllum-inophyllum com misturas de 10, 15, 20 e 25 (%v/v). Para avaliar a lubricidade, (SRINIVAS et al., 2020) utilizaram o tribômetro four-balltester. Para a avaliação do desgaste, utilizaram, além de medições de torque, a medição das ranhuras presentes nas esferas. Como resultado, encontraram a porcentagem de mistura de 15% PE e 10% TMP para um ótimo desempenho, quanto a lubricidade, do lubrificante.

Percebe-se, portanto, que vários pesquisadores utilizam os testes tribológicos para avaliar desde acabamentos superficiais a viabilidade de novos combustíveis e lubrificantes. Dessa forma, é inegável que a atenção de novas pesquisas esteja também direcionada para o desenvolvimento de novos equipamentos para avaliação de lubricidade.

Assim como os testes tribológicos, também se faz importante a análise dos óleos lubrificantes que são elementos fundamentais para a redução do desgaste e aumento da eficiência energética.

Com o passar do tempo, foram desenvolvidos diferentes tipos de óleos lubrificantes. Os primeiros óleos produzidos foram derivados diretamente do petróleo, chamados, por isso, de óleos minerais. Esses óleos, devido às características de sua origem e de muitos processos de refinamento ao longo dos anos, apresentam excelentes características de lubricidade, especialmente quando as aplicações são voltadas à engenharia. Entretanto, esses óleos impactam negativamente o meio ambiente, pois não são biodegradáveis, além de serem tóxicos, em muitos casos (ZULHANAFI; SYAHRULLAIL, 2019), como os anéis de benzeno (GOW, 2010).

De acordo com (ZAINAL et al., 2018), (SUDAN REDDY DANDU; NANTHAGOPAL, 2019), devido ao aumento da conscientização global acerca da preservação ambiental e da disseminação do entendimento de desenvolvimento sustentável, os óleos e combustíveis sintéticos derivados, principalmente, de fontes renováveis se apresentam como boas alternativas aos óleos e combustíveis minerais. Os óleos sintéticos, por apresentarem alta taxa de degradação, com relação aos óleos minerais, permite sua rápida decomposição natural, evitando danos ambientais graves a longo prazo (LUNA et al., 2011).

Esse óleos são produzidos por reações químicas que utilizam moléculas orgânicas como base para as reações. Devido a isso, os óleos sintéticos são mais caros, em comparação com os óleos minerais, porém permitem estabilidade química em condições de trabalho adversas, como elevadas temperaturas e cargas (SÁNCHEZ, 2017), (NATH et al., 2018).

Um dos tipos de óleos sintéticos bastante utilizados é o óleo sintético a base de Ésteres, sendo o di-éster um dos primeiros a ser desenvolvidos. Eles apresentam maior índice de viscosidade, se comparados aos óleos minerais (RUDNICK, 2013). Outrossim, os óleos sintéticos apresentam alto índice de viscosidade, alto ponto de inflamação, possibilidade de utilização em altas temperaturas sem a degradação química e perda de propriedades antioxidativas (HUANG et al., 2018),(NATH et al., 2018), (LOPES; BIDOIA, 2009), tornando-se uma boa alternativa aos produtos derivados do petróleo (MOBARAK et al., 2014).

Nesse estudo, primeiramente, buscou-se AVALIAR O DESEMPENHO E OS RESULTADOS DE um NOVO modelo de bancada de teste tribológico, idealizado pelos autor e seu companheiro de trabalho, Raoni Alves de Lima, baseado no ensaio Timken®, configurada como *Block-on-cylinder* (BC) apresentando-se como uma alternativa de baixo custo e fácil fabricação por meio do qual diversos pesquisadores podem efetuar análises tribológicas, contribuindo, portanto, para aprimorar, ainda mais, os conhecimentos e comportamentos do desgaste mecânico. Como referência para verificação do desempenho da nova bancada de testes, foram executados ensaios em condições semelhantes em uma máquina Four Ball (FB) normatizada da marca TAInstruments® modelo Discovery HR-3. Além disso, buscou-se, por meio dos testes tribológico, avaliar a lubricidade de diferentes tipos de óleos, como o óleo mineral e o óleo sintéticodi-éster, óleos estes com aplicações semelhantes, porém com aspectos de fabricação distintos, com cargas de 5 kg, em duplicata, para cada óleo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do ensaio de lubricidade é necessário a utilização de diferentes materiais e máquinas, além de uma metodologia bem definida. Uma vez que o ensaio é classificado como destrutivo, a cada teste realizado, deve haver nova substituição de corpos de prova e dos fluidos analisados, o que demanda atenção e cautela na escolha dos materiais e da execução do procedimento de ensaio.

4.1 Materiais

4.1.1 Arduino®

O Arduino® UNO é a versão mais simples dos modelos de Arduino®. Essa placa é constituída de 14 pinos de entrada ou saídas digitais. Pinos de entrada recebem dados de fora do sistema e pinos de saída devolvem informações para fora do sistema. Por trabalharem com sinais digitais, só podem trabalhar com 2 valores, 1 ou 0, ou, no caso do Arduino®, os valores *HIGH* ou *LOW*. A placa contém também 6 pinos analógicos de entradas, como o próprio nome sugere, só recebem sinais analógicos os quais podem ler 1024 diferentes níveis de tensão. Além disso, também há 6 pinos de saída analógica, que são os mesmos de entrada e saída digitais, porém o usuário pode especificar como esse pino irá trabalhar os dados por meio da IDE (BANZI; SHILOH, 2014). A Figura 4 apresenta um exemplar do Arduino UNO®.

Figura 4 - Placa Arduino® UNO



Fonte: (THOMSEN, 2014). Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>> Acesso em abr. 2020.

4.1.2 Transdutor de torque

O transdutor de torque é o sensor de torque rotativo. O modelo utilizado no trabalho foi o MT-102 fabricado pela TRANSTECONOLOGIA. O mesmo tem escala de medição de 0 N.m até 2 N.m e possui confiabilidade de medição à velocidade de 2000 rpm.

De acordo com seu *DataSheet*, o MT-102 é analógico e utiliza Ponte de Wheatstone como circuito para percepção das deformações. O mecanismo que permite a conexão do sistema estacionário com o sistema rotativo (eixo) é constituído de anéis e escovas, permitindo a coleta de sinal mesmo com o eixo em funcionamento. A Figura 6 apresenta o transdutor utilizado.

Figura 5 - Transdutor de torque rotativo MT-102



Fonte: Autor.

4.1.3 Bancada de teste

Os testes de lubricidade foram realizados em um dispositivo projetado e fabricado para este fim. A bancada de teste foi baseada no ensaio Timken® e possui transdutor de torque MT-02, sensor de temperatura e um Arduino® para captar e armazenar em um computador os dados enviados por esses sensores. A Figura 6 apresenta a bancada de teste utilizada.

Figura 6 - Bancada de Teste



Fonte: Autor.

4.1.4 Corpos de Prova para o ensaio Bloco no Cilindro (BC)

Os corpos de prova utilizados neste teste foram fabricados com aço 1020, trefilado. O comprimento do corpo de prova rotativo é de 50 mm e do corpo de prova fixo é de 25 mm. Para a realização deste teste, foram confeccionados 8 corpos de prova por meio do processo de torneamento.

4.1.5 Óleos Utilizados

Para a realização de cada ensaio, foi utilizado 5 mL de lubrificante. Os lubrificantes utilizados foram o Óleo Mineral SAE 20W50 (Óleo A) produzido para lubrificação de motores de combustão interna monocilíndricos 4 tempos e o Óleo Sintético (base éster) SAE 5W40 (Óleo B) produzido para lubrificação de motores de motos esportivas, que funcionam com altas rotações e elevadas temperaturas, com índice de viscosidade mais próximo ao óleo mineral. Antes de cada ensaio, o recipiente foi lavado com água corrente, sabão neutro e, ao final, limpo com álcool etílico 70 %.

Tabela 2 - Propriedades dos óleos analisados

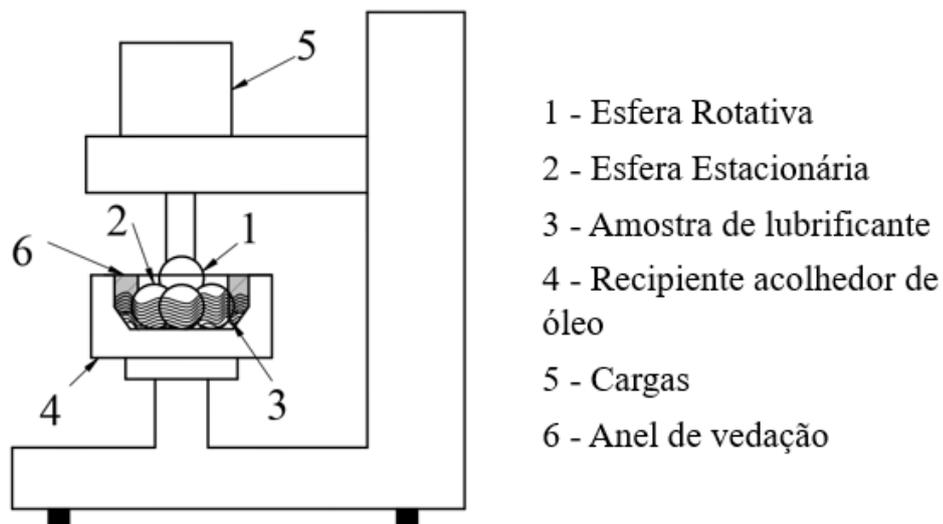
Propriedade	Óleo A	Óleo B	Normas
Grau SAW	20W-50	5W-40	-
Viscosidade 40°C (cSt)	146	72,7	ASTM D445
Viscosidade 100°C (cSt)	17,8	13,32	ASTM D445
Índice de viscosidade	135	187	ASTM D 2270
Ponto de fluidez (°C)	-18	-45	ASTM D 97
Ponto de fulgor (°C)	238	238	ASTM D 92
Cinza sulfatada, (% wt)	0,96	---	-----

Fonte: Autor.

4.1.6 Triboteste de referência – Fourball (FB)

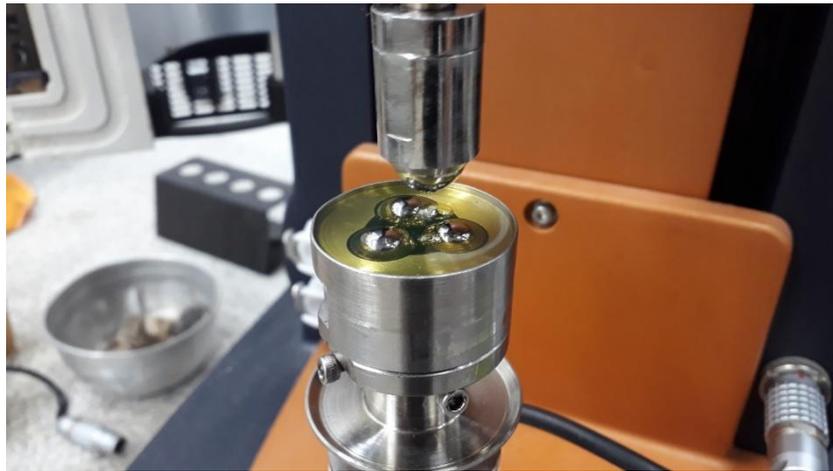
Como forma de análise referencial da nova bancada de testes, foi utilizado o reômetro Discovery HR-3 configurado com o tipo de contato 4-ball, em que uma esfera rotaciona em contato simultâneo e pontual com outras 3 esferas estacionárias. A Figura 7 apresenta, esquemática, a configuração FB. A zona de contato entre as esferas estavam submersas com os óleos a serem analisados, como mostrado pela Figura 8.

Figura 7 - Configuração Four Ball



Fonte: Autor.

Figura 8 - Inserção do óleo no Reômetro FB



Fonte: Autor.

Para a execução do ensaio *Four Ball* foram utilizadas 4 esferas Aço Cromo de 12,7 (mm) de diâmetro, retificadas e limpas com acetona. Inicialmente, insere-se as esferas em seus receptáculos. Após isso, insere-se o óleo a ser utilizado, aproximadamente 5 mL, pois era a medida ideal que permitia a lâmina de fluido ficar no nível abaixo do contato entre os corpos de prova, permitindo a simulação de um ambiente de contato em que a primeira movimentação do sistema ocorre sem lubrificação, passando a ser lubrificado com o funcionamento do sistema. Com o óleo acondicionado no recipiente, define-se os parâmetros de teste e executa-se o experimento. Ao final do teste, é possível colher os dados do computador para análises futuras.

4.1.7 Microscópio

A fim de se realizar as análises das ranhuras de desgaste por meio de micrografias, foi utilizado o microscópio de platina invertida Leica DMI 3000 M com câmera digital Leica DFC295 (Figura 9).

Figura 9 - Microscópio de Platina Invertida



Fonte: Autor.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 *Parâmetros do teste tribológico*

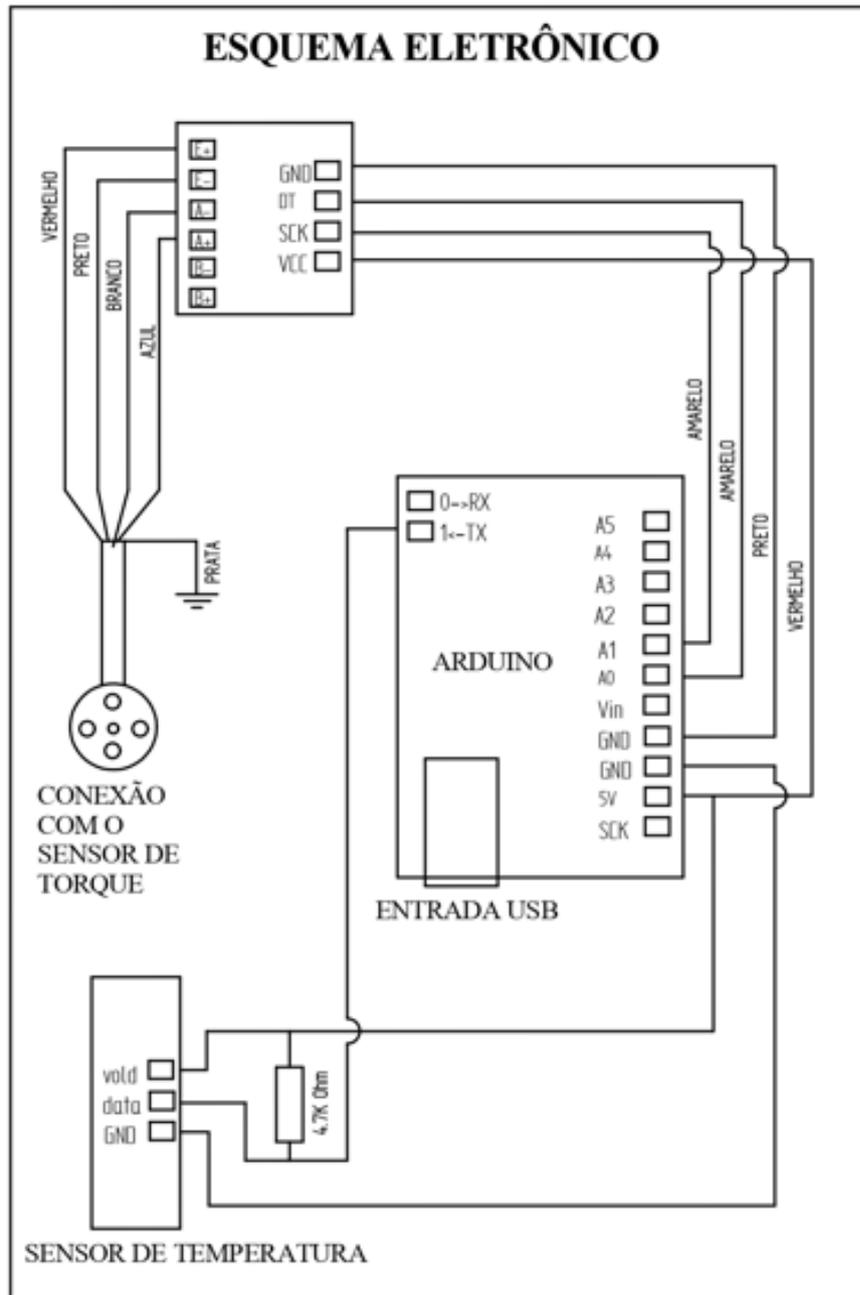
Assim como apresentado por Singh e Goel (2018), os parâmetros a serem medidos no ensaio tribológico são:

- Carga Normal aplicada
- Comprimento da pista
- Velocidade relativa entre as duas superfícies em contato
- Duração de cada experimento

4.2.2 *Montagem do circuito para coleta de dados de torque e de temperatura*

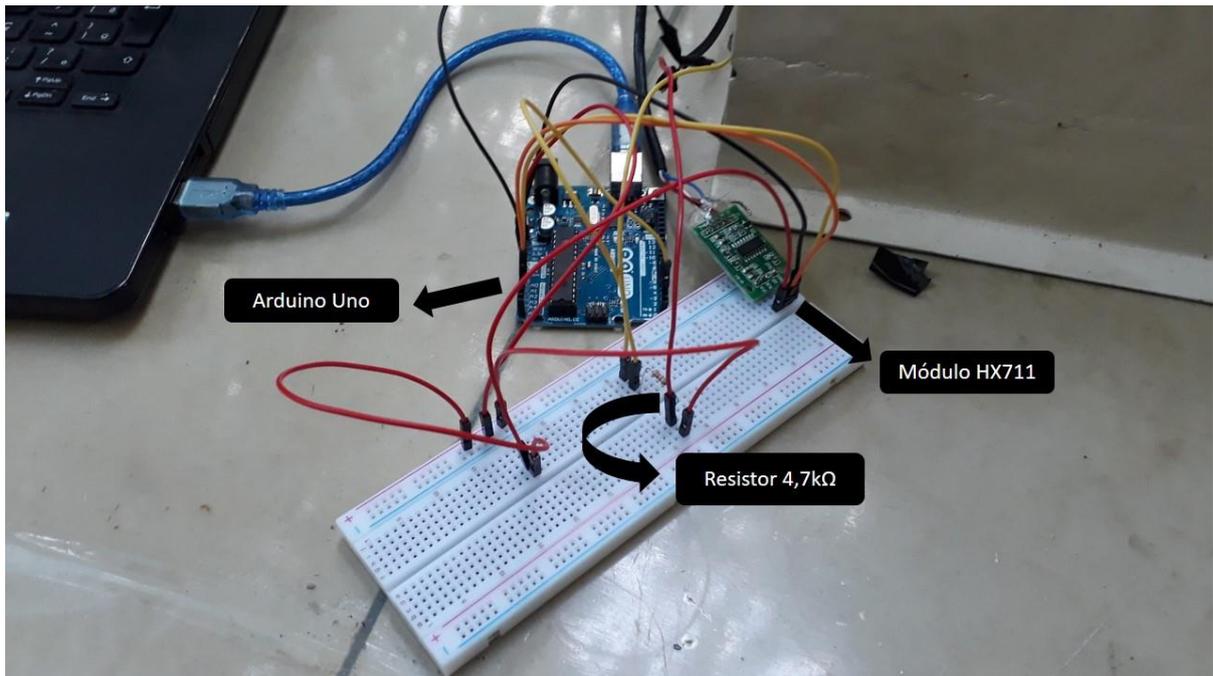
O circuito de montagem está esquematizado na Figura 10 e sua montagem está mostrada pela Figura 11.

Figura 10- Esquema eletrônico do sistema de coleta de dados



Fonte: Autor.

Figura 11 - Circuito eletrônico de coleta de dados



Fonte: Autor.

4.2.3 Preparação dos corpos de prova para o ensaio BC

Como o desgaste e o coeficiente de atrito são dependentes da qualidade superficial, os corpos de provas, tanto os fixos quanto os rotativos, logo após o processo de usinagem, passaram por um processo de acabamento superficial por meio da utilização de lixas de granulação número 200, 400 e 1200, nessa sequência, com adição de 15 mL de água por corpo de prova durante o processo de lixamento manual. Lixou-se o corpo de prova 40 vezes em uma única direção arbitrária. Depois, rotacionou-se o corpo de prova em 90° e efetuou-se o lixamento por mais 40 vezes, em apenas um sentido de lixamento, sempre mantendo o corpo de prova em contato com água, a fim de retirar os detritos oriundos do processo de acabamento para não influenciar na qualidade do acabamento superficial do corpo de prova. A Figura 12 apresenta o acabamento dos corpos de prova antes e depois do processo de retificação manual.

Figura 12 - Corpos de prova fixos antes e após o processo de acabamento superficial.



Fonte: Autor.

Pela Figura 12, verifica-se que há uma grande melhora no acabamento superficial, permitindo avaliação correta da lubricidade do óleo, uma vez que as superfícies passaram pelo mesmo processo de acabamento superficial, permitindo maior reprodutibilidade no experimento.

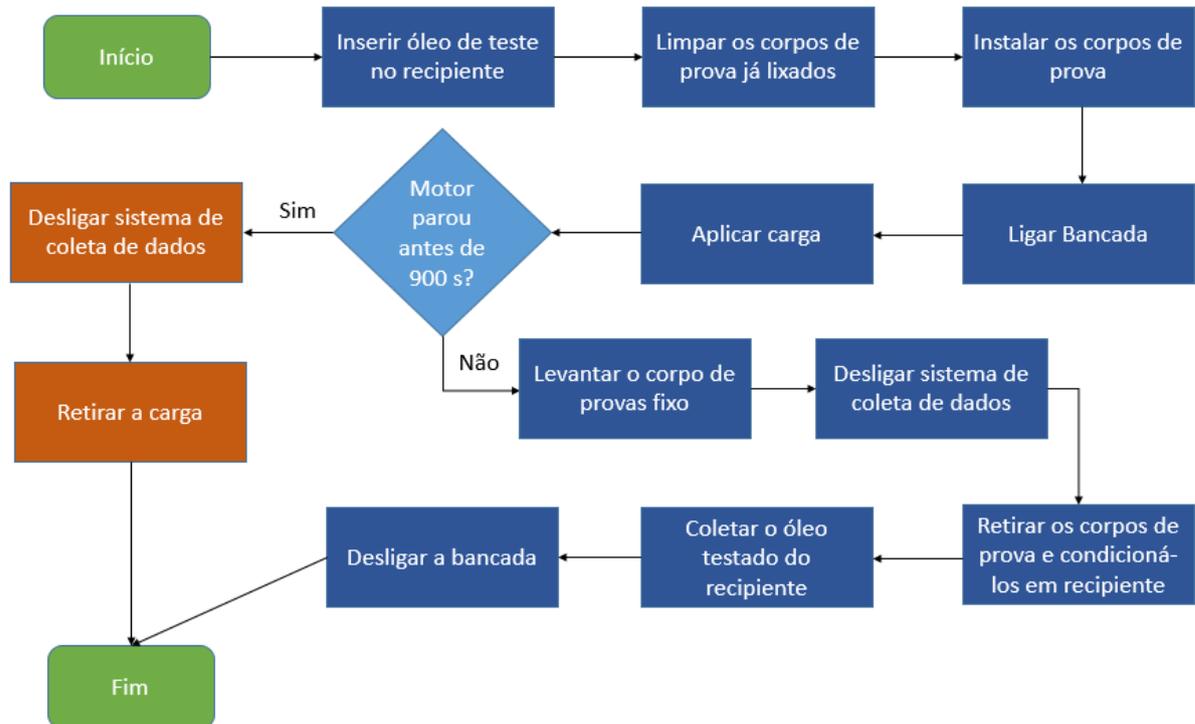
Imediatamente antes da inserção de cada corpo de prova na bancada de testes, foi efetuada limpeza com álcool com concentração de 70% nas regiões em que os corpos de prova sofrem contato entre si e com o lubrificante.

4.2.4 Procedimento para realização dos testes

O procedimento de ensaio se deu pela seguinte sequência. Primeiramente, inseriu-se o óleo no recipiente de teste, instalou-se os corpos de prova já lixados e limpos com solvente, ligou-se o motor elétrico da máquina, esperou-se dez segundos, tempo suficiente para o óleo circular pelo sistema e permitir sua acomodação no recipiente e ao redor do corpo de prova rotativo por capilaridade. Após isso, iniciou-se o processo de coleta de dados de torque. Logo após, aplicou-se a carga de ensaio, 5 kg ou 10 kg, medida baseada no trabalho de (SINGH; GOEL, 2018) e de (CARRETEIRO; MOURA, 1998), e prosseguiu-se com o teste por um tempo de 900 segundos, de forma ininterrupta, – tempo máximo de duração do ensaio com carga, sempre realizando os testes em duplicata. Vale salientar que o tempo de 900 segundos foi utilizado porque era o tempo máximo disponível pelo sistema elétrico de acionamento e controle do motor elétrico. Apesar disso, foi verificado que o tempo de 900 segundos é suficiente para que os corpos de prova apresente características de desgaste (aumento do valor do torque mensurado e presença de ranhuras na superfície de contato entre os dois corpos de prova).

Com o fim dos 900 segundos, o motor elétrico parou de funcionar automaticamente, com isso, o sistema de coleta de dados foi interrompido, retirou-se a carga do sistema, guardou-se os corpos de provas em ambiente, desligou-se o motor elétrico e desconectou-se o sistema de aquisição de dados do equipamento. Todo esse procedimento está representado em forma de fluxograma, por meio da Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma do teste de Lubricidade



Fonte: Autor.

Tabela 3 - Parâmetros de teste para o ensaio Bloco no Cilindro (BC) baseados em (SINGH; GOEL, 2018).

Parâmetros de teste	Valores
Carga normal aplicada no cilindro rotativo	5 kg e 10 kg
Velocidade angular	1100±10 rpm
Duração de cada experimento	300 segundos
Temperatura ambiente	31 °C

Fonte: Autor.

Foi realizado um teste tribológico com as condições semelhantes às dos testes realizados com a nova máquina. No caso, foi escolhido o modelo *Four Ball* de contato. A maior carga disponível no reômetro *Four Ball* foi de 5 kgf, devido a sua limitação de carga operacional, portanto, apenas os testes realizados com 5 kg no novo equipamento foram levados

em consideração para a análise comparativa entre os dois equipamentos. Foi possível, também, manter a velocidade de rotação e as temperaturas ambientais semelhantes.

Tabela 4 - Parâmetros de teste para o ensaio *Four Ball*

Parâmetros de teste	Valores
Carga normal aplicada ao cilindro rotativo	5kg (Máximo)
Velocidade angular	1150 ± 5 rpm
Duração de cada experimento	3600 segundos
Temperatura ambiente	30,9 °C

Fonte: Autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização dos materiais selecionados, dos equipamentos e da metodologia pesquisada, foi possível realizar o projeto e a fabricação da bancada de testes de lubricidade e obtenção dos dados de torque e da largura das ranhuras. Permitindo, assim, uma avaliação da lubricidade dos óleos analisados.

5.1 Projeto e construção do Protótipo

O estudo da lubrificação hidrodinâmica necessita de um contato entre os corpos de provas para gerar atrito, então, a fim de ser possível a realização desse contato para avaliação da lubricidade, foi projetada e fabricada uma bancada de testes sob o depósito de patente número BR 10 2021 010200 4, de modo que, dentre os modelos de contato disponíveis na literatura, foi escolhido o contato pino no cilindro *Block-on-cylinder* (BC) por apresentar corpos de provas de baixo custo de fabricação.

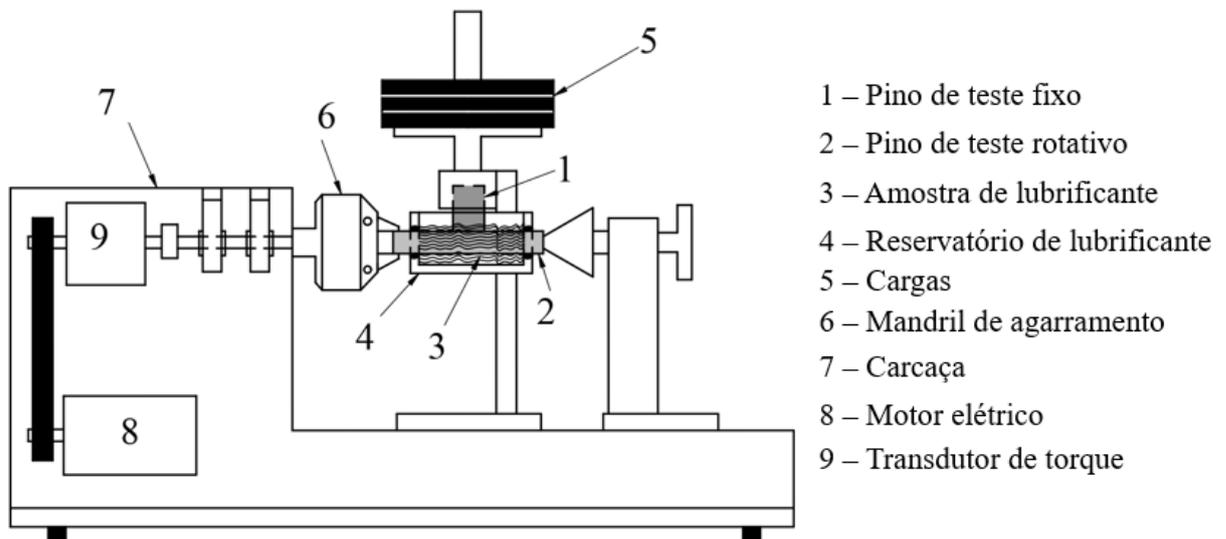
Neste equipamento, um par de corpos de provas é usado em cada ensaio, sendo que um está no movimento de rotação bi-apoiado em suas extremidades para evitar uma possível flexão do mesmo, e o outro corpo de prova fica com uma das suas faces transversais em contato com o corpo rotativo. Nos dois corpos de prova é possível verificar desgastes, mas o corpo de prova fixo é o que possui maior relevância devido estar sempre em contato, uma vez que o desgaste é em forma de linha. A fim de ter reprodutibilidade, cada corpo de prova deve ter uma dimensão padrão para não gerar desvios nas análises.

Para a geração de potência, um motor elétrico de ligação monofásico de 0,7 (cv) de rotação estacionária de 1100 ± 10 (rpm) é usado no projeto, de modo que, transmite movimento rotativo para o sensor de torque por meio de uma correia dentada onde suas polias dentadas evitam um possível escorregamento. Por sua vez, o sensor está acoplado ao eixo árvore que é

apoiado por dois mancais. Uma engrenagem com um sensor de rotação para mensurar a variação da quantidade de rotações por minuto entre os mancais. Um mandril está acoplado ao eixo árvore, sua função é fixar o corpo de prova rotativo para que no procedimento do teste o corpo de prova fixo entre em contato. O volume de óleo utilizado no teste é de aproximadamente 5 mL.

O movimento de reação de rotação que o corpo de prova fixo faz no corpo de prova rotativo é captado pelo sensor de torque para avaliar o que o atrito faz em relação a variação de rotação no momento de aplicação de cada carga no ensaio em função do tempo (s) de teste pré-estabelecido e programável numa faixa de 0 a 900 segundos. A estrutura em questão é mostrada na Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 - Diagrama esquemático do equipamento de contato pino no disco



Fonte: Autor.

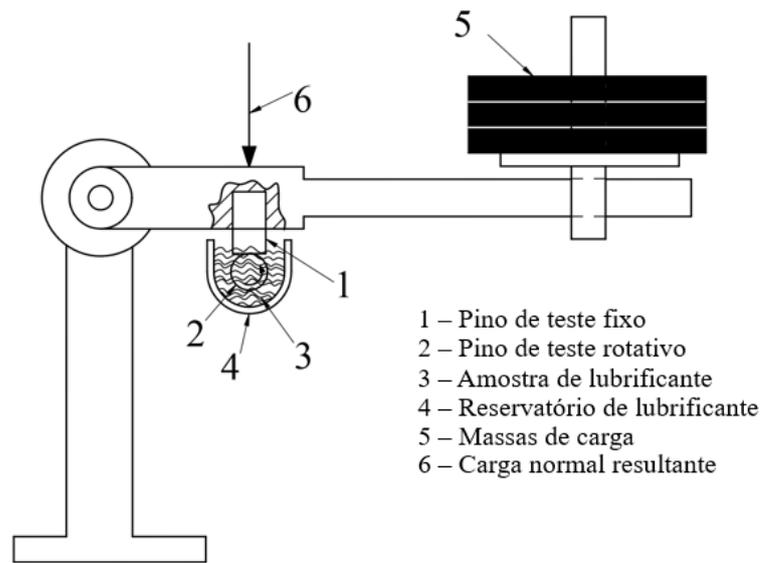
Figura 15 - Bancada de testes



Fonte: Autor.

No procedimento de cada teste foi escolhido uma carga a ser aplicada para ver o comportamento do deslizamento que o lubrificante faz em redução ou não de atrito no local do contato. O corpo de prova fixo (1) está encaixado no braço basculante onde nele é aplicado cada carga (5). Inicialmente com 1 kg (9,8 N), podendo ser acrescentado até 10 kg (98,1 N). O esquema do equipamento é visto na Figura 16.

Figura 16 - Diagrama esquemático do equipamento de contato BC



Fonte: Autor.

Sobre os corpos de provas, o comprimento do fixo é 25 mm e do rotativo é 50 mm. Como a rotação inicial do equipamento é constante de 1100 ± 10 rpm, então, cada diâmetro disponibiliza uma velocidade tangencial sendo especificado para cada tipo de teste, como visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Relação entre Diâmetro do corpo de prova e velocidade tangencial no ponto de contato entre as superfícies.

Diâmetro	Velocidade Tangencial
5/16" (7,9 mm),	0,417 m/s
3/8" (9,5 mm)	0,502 m/s
1/2" (12,7 mm)	0,671 m/s

Fonte: Autores.

Já em relação ao sistema de aquisição de dados, o equipamento utiliza um transdutor de torque rotativo de 2 (N.m), analógico com Ponte de Wheatstone. Além disso, o dispositivo conta com um termômetro com ponta de aço inoxidável que mede a temperatura do banho de óleo. Conectando ambos os dispositivos, há uma placa de Arduino Uno® que recebe os sinais dos sensores e os envia para um computador. Dessa forma, é possível armazenar, a cada 2 segundos, os valores simultâneos de torque do sistema de contato em análise.

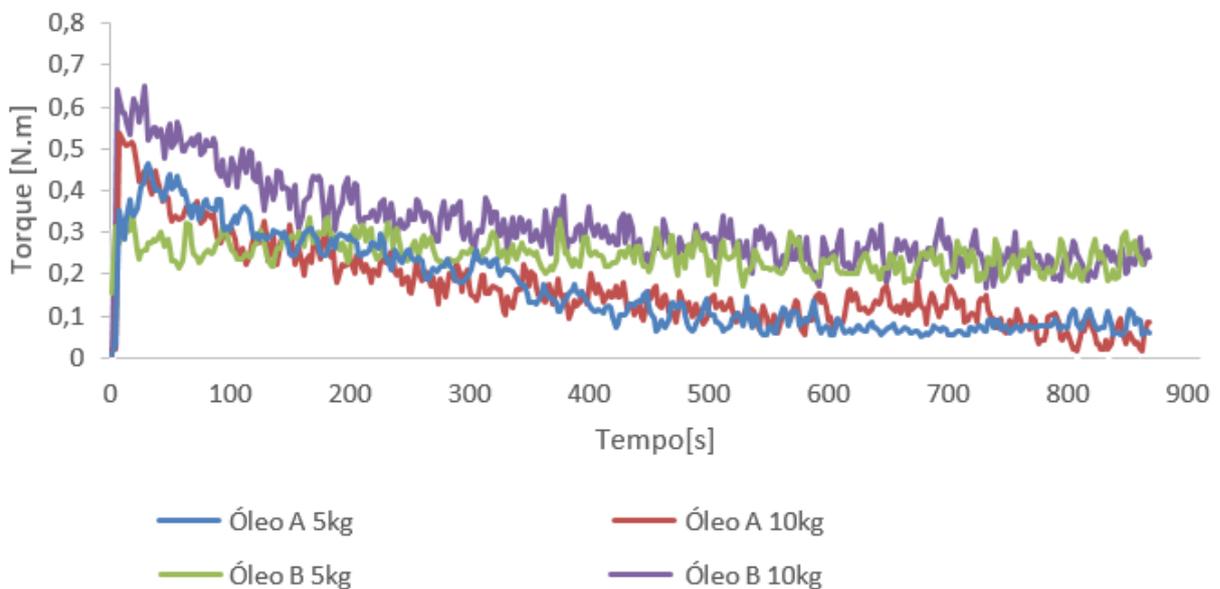
Dessa forma, entende-se que a bancada de testes em questão permite à avaliação da lubrificidade com base em dois princípios. O primeiro está relacionado à temperatura do óleo. Quanto maior o valor de temperatura, maior a quantidade de calor o óleo está retirando da zona de contato, permitindo maior vida útil ao sistema mecânico. O outro segundo princípio se baseia

no fato de que quanto menor o esforço que o motor elétrico deve realizar para manter a velocidade constante, maior será a lubrificidade, uma vez que se entende que há menos energia mecânica sendo convertida em energia térmica.

5.2 Avaliação do dispositivo configurado com BC

Por meio do transdutor de torque inserido entre o corpo de prova rotativo e o motor elétrico, foi possível mensurar o torque reativo devido ao contato do corpo de prova rotativo e o corpo de prova fixo devido à aplicação da força normal na amostra fixa. O Gráfico 2 apresenta os valores mensurados durante o ensaio dos óleos A e B (óleo mineral SAE 20W50 e óleo sintético (base éster) SAE 5W40), respectivamente, para as duas cargas: 5 kgf e 10 kgf. O gráfico foi suavizado, utilizando o recurso de Média Móvel. A versão sem a suavização encontra-se na seção Apêndices.

Gráfico 2 – Torque no teste BC com 15 minutos de teste.



Fonte: Autor.

Por meio do Gráfico 2 observa-se que, o torque também aumenta proporcionalmente com a carga normal aplicada no sistema. Isso ocorre, pois, aumenta-se a força de atrito, que possui sentido de rotação contrário ao do corpo de prova rotativo, e está localizada no ponto de contato entre as duas superfícies. Dessa forma, como há uma distância entre o ponto de aplicação da força e o eixo de rotação da amostra, há um torque, o qual foi mensurado. Sendo assim, quanto maior a força normal aplicada, maior será o torque medido. Isso pode ser observado quando se avalia os valores de torque depois de passados 500 segundos do início do experimento.

Pela visualização do Gráfico 2, percebe-se que o torque inicia com um valor de pico, para os dois óleos, independentemente da carga normal aplicada. Logo em seguida, esse valor reduz até estabilizar por volta de 250 segundos de teste transcorridos. Isso indica que, devido à qualidade superficial dos corpos de prova, assim que uma amostra inicia o contato com a outra, ainda não há óleo presente na zona de contato. À medida que os corpos rotacionam, o óleo consegue, gradualmente, preencher a zona de contato. Além disso, devido ao baixo nível de óleo presente na zona de contato nos momentos iniciais do teste, as superfícies se ajustam, por deformação, até se acomodarem e estabilizarem. A soma desses dois fatores provocam o comportamento de pico inicial no valor do torque até uma posterior redução e estabilização do valor de torque a partir dos 250 segundos de teste, aproximadamente.

Devido a esse comportamento do valor do torque, foi necessário realizar duas análises para melhor compreensão do comportamento de lubrificação dos óleos. Uma primeira análise, apresentada pela Tabela 6, expõe resultados oriundos da análise do teste em sua totalidade, durante os 15 minutos. Já a Tabela 7 apresenta dados a partir de 250 segundos de teste transcorridos, que é o tempo estimado de estabilização dos valores de torque do teste.

Tabela 6 - Dados colhidos durante 900 segundos (teste completo)

Óleo	Torque médio (N.m)	Desvio padrão do torque (N.m)
Óleo A 5kg	0,14	0,08
Óleo B 5kg	0,24	0,04
Óleo A 10kg	0,14	0,07
Óleo B 10kg	0,29	0,07

Fonte: Autor.

Tabela 7 - Dados colhidos a partir de 250 segundos de execução do teste

Óleo	Torque Médio (N.m)	Desvio padrão do torque (N.m)
Óleo A 5kg	0,07	0,02
Óleo B 5kg	0,22	0,03
Óleo A 10kg	0,09	0,05
Óleo B 10kg	0,24	0,04

Fonte: Autor.

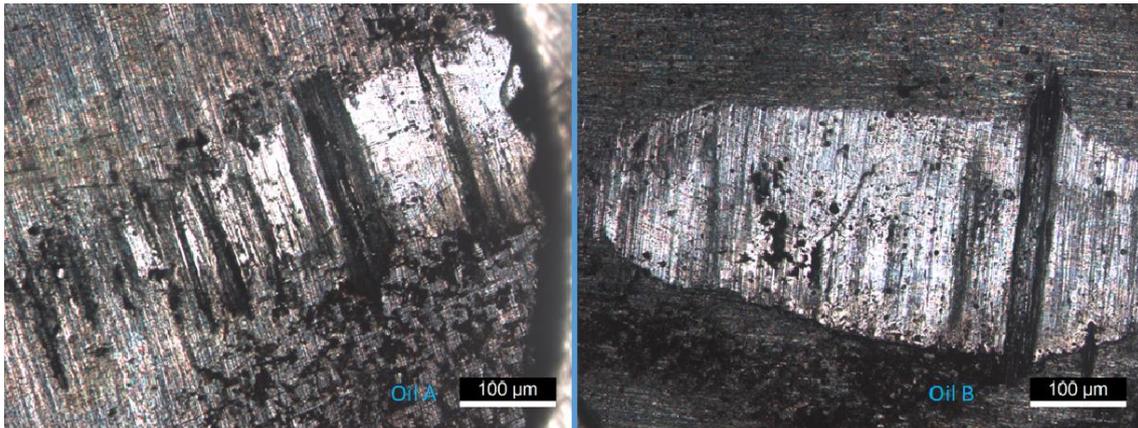
Avaliando-se as tabelas e os gráficos, percebe-se que o óleo A apresenta menores valores de torque, tanto para a carga de 5 kg quanto para a de 10 kg. Esse resultado se mantém mesmo com a avaliação completa do teste. Desse modo, o óleo A apresenta maior lubrificidade do que o óleo B. Isso ocorre pois o óleo A apresenta maior viscosidade em relação ao óleo B,

dessa forma, o óleo A consegue, em baixas e altas cargas, uma melhor separação entre as superfícies, formando um filme de óleo mais espesso que o óleo B é capaz. Dessa forma, há redução dos valores de torque e, conseqüentemente, do atrito. Salienta-se que isso não significa que o óleo A é melhor que o óleo B, mas sim, que o óleo A, devido as suas características físico-químicas, permite uma lubricidade maior para as condições que o teste foi realizado.

De acordo com (AIREY et al., 2020)(HENTSCHEL, 1985) e (LAFOUNTAIN; JOHNSTON; SPIKES, 2001), os óleos sintéticos apresentam maior estabilidade com relação à lubricidade. Isso é devido às moléculas de ésteres serem flexíveis, permitindo livre rotação dos componentes e deslizamento mais fácil entre as cadeias de moléculas. Além disso, esse comportamento pode ser causado devido a eficiência de empacotamento molecular, polaridade e a uma maior proporção de substituintes cíclicos e ramificados (HÖHN; MICHAELIS; DOLESCHER, 2001)(MARTINS et al., 2006)(MICHAELIS, 2011)(FERNANDES et al., 2013). Dessa forma, em uma aplicação em um motor de combustão interna, por exemplo, a utilização do óleo B permite redução do consumo de combustível e maior vida útil dos componentes móveis em contato com alguma superfície, devido a maior estabilidade com a variação de temperatura.

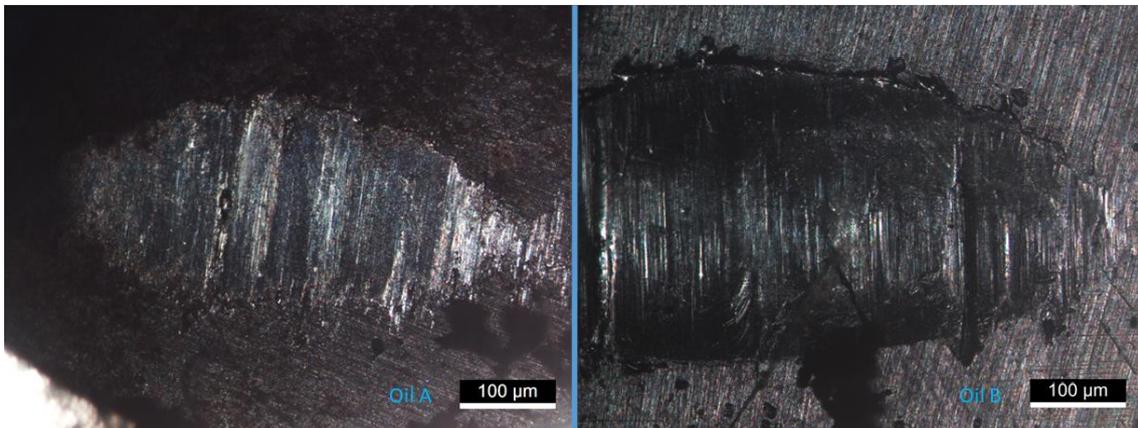
Esse mesmo comportamento do óleo B pôde ser visto na avaliação do desgaste dos corpos de prova. É esperado que o corpo de prova que apresentou maior valor de torque, apresente, também, maior valor de desgaste, neste trabalho, medido por meio do *Wear Scar Diameter (WSD)*. O desgaste pode ser visto nas Figura 17 e 18.

Figura 17 - Micrografias Óleos A e B com 5 (kgf) de carga



Fonte: Autor.

Figura 18 - Micrografias Óleos A e B com 10 (kgf) de carga.



Fonte: Autor.

Tabela 8 - WSD para ensaios BC 5 (kg) e 10 (kg)

Óleo	Carga (kgf)	Medição da ranhura de desgaste (μm)
Óleo A	5	203,64
Óleo B	5	238,00
Óleo A	10	216,48
Óleo B	10	311,84

Fonte: Autor.

Pela Tabela 8 pode-se observar que os menores valores de WSD estão relacionados ao sistema que utilizou o óleo A. Isso é visto também pela análise do valor do torque resistivo que, para o mineral, apresentou, também, os menores valores. É importante salientar que o bom comportamento do óleo mineral com boa lubrificidade se repetiu também com a carga máxima de 10 (kg). Esse comportamento era esperado, principalmente devido à alta viscosidade do óleo

mineral em comparação com a do óleo sintético. Desse modo, para o ensaio com a nova bancada de testes, ficou explícito que o óleo A apresentou melhor desempenho de lubricidade em comparação com o óleo B.

5.3 Avaliação pelo Four Ball

Com a realização do ensaio *Four Ball*, foi possível coletar dados de torque com relação ao tempo de execução, mostrado no Gráfico 3. O gráfico foi suavizado, utilizando o recurso de Média Móvel. A versão sem a suavização encontra-se nos Apêndices.

Gráfico 3 – Valores de torque com máquina FB durante 15 minutos de teste

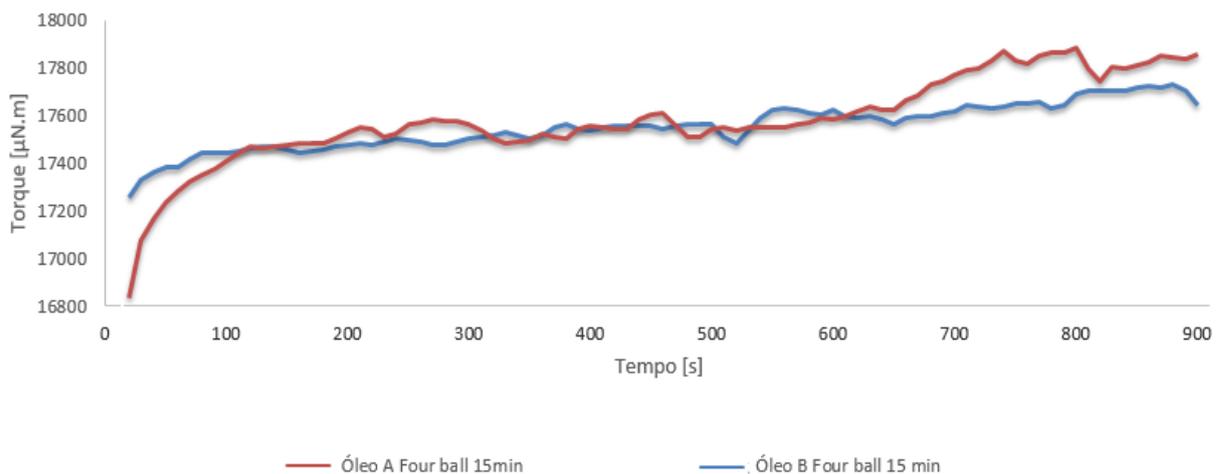


Tabela 9 - Valores de Torque para Four Ball

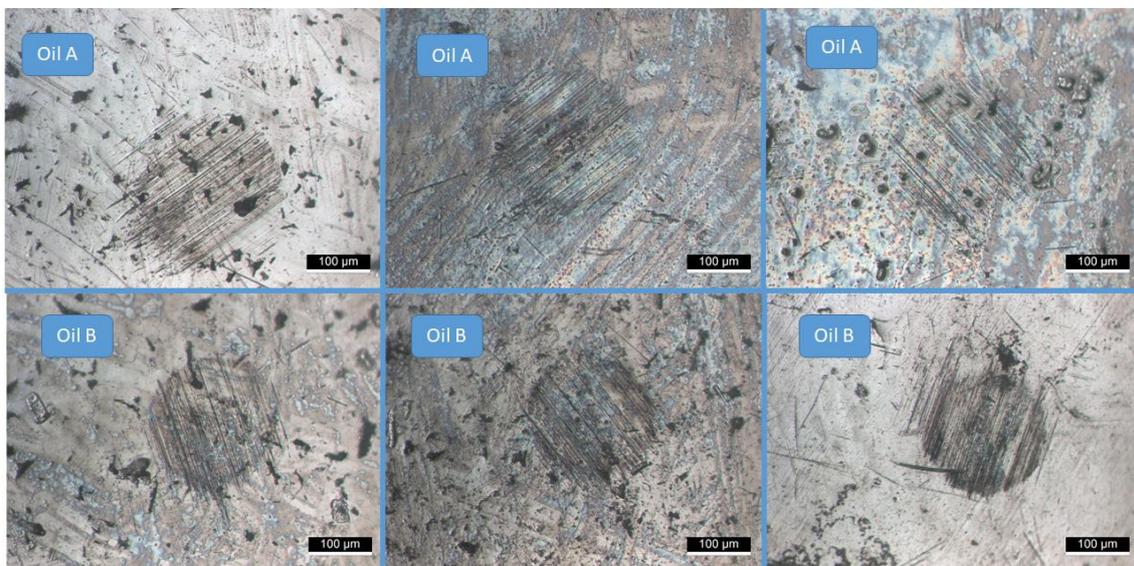
Óleo	Torque Médio ($\mu\text{N.m}$)	Desvio padrão do Torque
Óleo A	17549,4	100,5
Óleo B	17579,8	198,3

Como a nova máquina só realiza ensaios de, no máximo, 15 minutos, só é possível comparar os 15 minutos de ensaio do teste *Four Ball*. É possível destacar do Gráfico 3 e da Tabela 9 que, o óleo sintético apresentou maior valor de torque com relação ao óleo mineral, mesmo resultado apresentado pela nova máquina de testes. Além disso, foi notória a ausência de um valor de torque inicialmente maior e depois uma redução até uma estabilização. Isso é devido ao fato de que no teste *Four Ball*, os corpos de provas possuíam acabamento superficial bastante superior com relação aos corpos de provas da nova máquina, inexistindo, portanto, período de tempo de acomodação e penetração do óleo entre as superfícies em contato.

Outro fator que diferenciou o teste *Four Ball* do teste realizado pela nova máquina foram os valores inferiores de torque. Isso também é devido à diferença de qualidade superficial das amostras entre ambos os testes. A rugosidade superficial é um fator de grande impacto na geração do atrito, como as esferas utilizadas no *Four Ball* eram retificadas, e as amostras do BC apenas lixadas, era de se esperar essa diferença no valor do torque. Porém, como é uma diferença constante ao longo do teste, por afetar toda a superfície de contato em ambos os testes, não há impacto negativo na análise da lubricidade do óleo.

Também foram realizadas micrografias das amostras do teste *Four Ball*, apresentadas na Figura 19.

Figura 19 - Micrografias Four Ball



Fonte: Autor.

Pela Figura 19 pode-se verificar que a ranhura causada devido ao atrito nos corpos de prova lubrificados pelo óleo mineral são menores em relação aos corpos de prova lubrificados com óleo sintético. A Tabela 10 apresenta os valores WSD (*Wear Scar Diameter*), ou Medição do Diâmetro de Desgaste, em tradução livre, das micrografias.

Tabela 10 – Diâmetro da ranhura de desgaste (μm) para o teste por FB

Óleo	Medida da ranhura de desgaste (μm)			
	Esfera 1	Esfera 2	Esfera 3	Média
Mineral	202,3	193,57	233,81	209,89
Sintético	266,49	211,02	195,84	224,45

Fonte: Autor.

Portanto, por meio da análise do torque e do WSD, é possível verificar que pelo teste Four Ball o Óleo A apresentou maior lubrificidade em comparação ao óleo B. Esse fator também está diretamente relacionado a maior viscosidade apresentada pelo óleo mineral, permitindo, assim, uma maior separação entre as superfícies de contato, reduzindo o torque necessário para manter a velocidade angular constante e, conseqüentemente, reduzindo, também, o valor do desgaste gerado devido ao contato entre as superfícies de contato.

6. CONCLUSÃO

Conforme os resultados obtidos, pode-se afirmar que a nova bancada de testes construída com baixo custo configurada com o arranjo tribológico BC (*Block on Cylinder*) apresentou resultados qualitativamente semelhantes aos resultados do reômetro normatizado configurado com o arranjo FB (*Four Ball*). Portanto, isso permite afirmar que a nova bancada de testes apresenta resultados satisfatórios que permitem a sua utilização como um meio de análise da lubricidade de óleos de diferentes viscosidades. Além disso, como consequência da validação, pode-se verificar que o óleo A apresentou lubricidade superior ao óleo B devido, principalmente, a sua alta viscosidade. Deve ser destacado que esse resultado não indica que o óleo A é melhor ou superior, em termos de lubricidade, ao óleo B, mas que, para as condições ambientais e de carga impostas aos óleos durante os experimentos, o óleo A apresentou melhor comportamento tribológico permitindo a redução do esforço aplicado pelo motor elétrico e menores tamanhos de arranhões. Outrossim, os desgastes mensurados se comportaram conforme os valores de torque, ou seja, altos valores de torque implicam maior atrito, que por sua vez, implica maior desgaste e, conseqüentemente, maiores ranhuras devido a maior perda de material. Dessa forma, permite a observação de que os sistemas da máquina BC (*Block on Cylinder*) apresentaram conformidade com os resultados obtidos por meios experimentais e pelo uso de equipamentos distintos, como o microscópio de platina invertida. Sendo assim, para essas condições de teste, o óleo A previne, de forma mais eficaz, a redução do desgaste e promove economia energética do sistema mecânico no qual está sendo utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIREY, Jake; SPENCER, Matthew; GREENWOOD, Richard; SIMMONS, Mark. The effect of gas turbine lubricant base oil molecular structure on friction. **Tribology International**, [S. l.], v. 146, n. November 2019, p. 106052, 2020. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.106052. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.106052>.
- ANDERSON, Michael; SCHMIDT, Frederick. Lubricant Friction and Wear Testing. In: TOTTEN, George E. (org.). **Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing**. [s.l.] : ASTM, 2003. p. 1017–1042.
- BANZI, Massino; SHILOH, Michael. **Getting Started with Arduino**. Sebastopol: Maker media, 2014.
- BORGES, A. N. **Caracterização de escovas de grafite e avaliação do seu desempenho em função da microestrutura**. 2007. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, [S. l.], 2007.
- CARRETEIRO, Ronald Pinto; MOURA, Carlos. **Lubrificantes e lubrificacao**. São Paulo: Makron Books, 1998.
- CAVALCANTI, Synara. **Caracterização do óleo de carnaúba para uso como biolubrificante**. 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, [S. l.], 2014.
- ÇENGEL, Yunus; CIMBALA, John. **Mecânica dos Fluidos**. 3. ed. São Paulo: AMGH Editora, 2015.
- CHAN, Chung-Hung; TANG, Sook Wah; MOHD, Noor Khairin; LIM, Wen Huei; YEONG, Shoot Kian; IDRIS, Zainab. Tribological behavior of biolubricant base stocks and additives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 93, p. 145–157, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.05.024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136403211830371X>.
- FARFAN-CABRERA, Leonardo Israel. Tribology of electric vehicles: A review of critical components, current state and future improvement trends. **Tribology International**, [S. l.], v. 138, n. June, p. 473–486, 2019. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.06.029. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.06.029>.
- FARFAN-CABRERA, Leonardo Israel; GALLARDO-HERNÁNDEZ, Ezequiel Alberto; GÓMEZ-GUARNEROS, Mario; PÉREZ-GONZÁLEZ, José; GODÍNEZ-SALCEDO, Jesús Gilberto. Alteration of lubricity of Jatropha oil used as bio-lubricant for engines due to thermal ageing. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 149, n. xxxx, p. 1197–1204, 2020. DOI: 10.1016/j.renene.2019.10.116.
- FERNANDES, Carlos M. C. G.; AMARO, Pedro M. P.; MARTINS, Ramiro C.; SEABRA, Jorge H. O. Torque loss in cylindrical roller thrust bearings lubricated with wind turbine gear oils at constant temperature. **Tribology International**, [S. l.], v. 67, p. 72–80, 2013. DOI: 10.1016/j.triboint.2013.06.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2013.06.016>.
- GOW, G. Lubricating Grease. In: MORTIER, Roy M.; FOX, Malcolm F.; ORSZULIK, Stefan T. (org.). **Chemistry and Technology of Lubricants**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 411–432. DOI: 10.1023/b105569_14. Disponível em: https://doi.org/10.1023/b105569_14.
- GUALBERTO, Victor Soares; LIMA, Raoni Alves De; BUENO, André Valente; LOPES,

Ada Amélia Sanders; RIOS, Maria Aleksandra De Sousa. Metodologias de ensaios de lubrificidade: uma revisão de literatura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 26745, 2020. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26745.

HAMROCK, Bernard J.; DOWNSON, Duncan. **Ball bearing lubrication: the elastohydrodynamics of elliptical contacts**. [s.l.: s.n.].

HATTORI, Takafumi; UMEHARA, Noritsugu; KOUSAKA, Hiroyuki; DENG, Xinrui; MANABE, Kazuyoshi; HAYASHI, Keiji. Tribological Properties of High Hardness ta-CN_x Coatings Deposited by Filtered Arc Deposition with Block-on-Ring Tribotester. **Procedia Manufacturing**, [S. l.], v. 5, p. 1224–1233, 2016. DOI: 10.1016/j.promfg.2016.08.096. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.096>.

HENTSCHEL, K. H. The influence of molecular structure on the frictional behaviour of lubricating fluids. **Journal of Synthetic Lubrication**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 11, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsl.3000020205>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsl.3000020205>.

HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo.

HO, Calvin K.; MCAULEY, Kimberley B.; PEPPLEY, Brant A. Biolubricants through renewable hydrocarbons: A perspective for new opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 113, p. 109261, 2019. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109261. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032119304691>.

HÖHN, B. R.; MICHAELIS, K.; DOLESCHER, A. Frictional behaviour of synthetic gear lubricants. **Tribology Series**, [S. l.], v. 39, p. 759–768, 2001. DOI: 10.1016/s0167-8922(01)80156-5.

HOLMBERG, Kenneth; ERDEMIR, Ali. Tribology International The impact of tribology on energy use and CO₂ emission globally and in combustion engine and electric cars. **Tribology International**, [S. l.], v. 135, n. March, p. 389–396, 2019. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.03.024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.024>.

HSIEH, Peter Y.; BRUNO, Thomas J. A perspective on the origin of lubricity in petroleum distillate motor fuels. **Fuel Processing Technology**, [S. l.], v. 129, p. 52–60, 2015. DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.08.012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378382014003488>.

HUANG, Lina; MA, Jingyi; WANG, Xiaobo; ZHANG, Pingyu; YU, Laigui; ZHANG, Shengmao. Tribology International Mesoporous silica nanoparticles-loaded methyl 3- (3, 5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl) propanoate as a smart antioxidant of synthetic ester oil. **Tribology International**, [S. l.], v. 121, n. November 2017, p. 114–120, 2018. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.01.042. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.01.042>.

HUDEDAGADDI, Channabasappa B.; RAGHAV, Anirudh G.; TORTORA, Angela M.; VEEREGOWDA, Deepak H. Water molecules influence the lubricity of greases and fuel. **Wear**, [S. l.], v. 376–377, p. 831–835, 2017. DOI: 10.1016/j.wear.2017.02.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2017.02.002>.

JOST. A Footprint Where Economics and Environment Meet. In: FOURTH WORLD TRIBOLOGY CONGRESS 2009, Kyoto. **Anais [...]**. Kyoto

KAŹMIERCZAK, Andrzej Roman. Analysis of the results from a goniometer and tribotester of a diamond derivative coating on the first piston ring of an internal combustion engine.

Wear, [S. l.], n. xxxx, p. 203812, 2021. DOI: 10.1016/j.wear.2021.203812. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203812>.

KIM, BoHoon; JIANG, Jiechao C.; ASWATH, Pranesh B. Mechanism of wear at extreme load and boundary conditions with ashless anti-wear additives: Analysis of wear surfaces and wear debris. **Wear**, [S. l.], v. 270, n. 3–4, p. 181–194, 2011. DOI: 10.1016/j.wear.2010.10.058. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-a416c3bc-736d-3dd0-98bd-29a203a0d7e2/tab/summary>.

LAFOUNTAIN, A. R.; JOHNSTON, G. J.; SPIKES, H. A. The elastohydrodynamic traction of synthetic base oil blends. **Tribology Transactions**, [S. l.], v. 44, n. 4, p. 648–656, 2001. DOI: 10.1080/10402000108982506.

LAPUERTA, Magín; SÁNCHEZ-VALDEPEÑAS, Jesús; BOLONIO, David; SUKJIT, Ekarong. Effect of fatty acid composition of methyl and ethyl esters on the lubricity at different humidities. **Fuel**, [S. l.], v. 184, p. 202–210, 2016. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.07.019.

LOPES, Paulo Renato Matos; BIDOIA, Ederio Dino. Evaluation of the biodegradation of different types of lubricant oils in liquid medium. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [S. l.], v. 52, n. 5, p. 1285–1290, 2009. DOI: 10.1590/S1516-89132009000500028.

LUNA, F. Murilo T.; ROCHA, Breno S.; JR, Estélio M. Rola; ALBUQUERQUE, Mônica C. G.; AZEVEDO, Diana C. S.; JR, Célio L. Cavalcante. Assessment of biodegradability and oxidation stability of mineral, vegetable and synthetic oil samples. **Industrial Crops & Products**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 579–583, 2011. DOI: 10.1016/j.indcrop.2010.12.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.012>.

MARTINS, R.; SEABRA, J.; BRITO, A.; SEYFERT, Ch; LUTHER, R.; IGARTUA, A. Friction coefficient in FZG gears lubricated with industrial gear oils: Biodegradable ester vs. mineral oil. **Tribology International**, [S. l.], v. 39, n. 6, p. 512–521, 2006. DOI: 10.1016/j.triboint.2005.03.021.

MARU, Marcia M.; TROMMER, Rafael M.; CAVALCANTI, Kátia F.; FIGUEIREDO, Elizabeth S.; SILVA, Rui F.; ACHETE, Carlos A. The Stribeck curve as a suitable characterization method of the lubricity of biodiesel and diesel blends. **Energy**, [S. l.], v. 69, p. 673–681, 2014. DOI: 10.1016/j.energy.2014.03.063. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.063>.

MARU, Marcia Marie; TANAKA, Deniol K. Consideration of stribeck diagram parameters in the investigation on wear and friction behavior in lubricated sliding. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, [S. l.], v. 29, n. 1, 2007. DOI: 10.1590/S1678-58782007000100009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782007000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

MICHAELIS, Klaus. Influence factors on gearbox power loss. **Industrial Lubrication and Tribology**, [S. l.], v. 63, n. 1, p. 9, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/00368791111101830>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/00368791111101830/full/html>.

MOBARAK, H. M.; MOHAMAD, E. Niza; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; MAHMUD, K. A. H. Al; HABIBULLAH, M.; ASHRAFUL, A. M. The prospects of biolubricants as

alternatives in automotive applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 33, p. 34–43, 2014. DOI: 10.1016/j.rser.2014.01.062. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.062>.

NATH, Amit R.; YEHYE, Wageeh A.; ZULKIFLI, N. W. M.; RAFIE, Mohd. Thermochemica Acta Ester of thiolated butylated hydroxytoluene : Potential antioxidant for synthetic lubricant oil. **Thermochemica Acta**, [S. l.], v. 670, n. April, p. 7–12, 2018. DOI: 10.1016/j.tca.2018.09.021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.09.021>.

NORTON, Robert. **Projeto de máquinas**. 4. ed. [s.l.] : Bookman, 2013.

NOSONOVSKY, Michael; BHUSHAN, Bharat. Green tribology. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [S. l.], v. 368, n. 1929, p. 4675–4676, 2010. DOI: 10.1098/rsta.2010.0202. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2010.0202>.

OCAK, Mehmet Akif. Where does Arduino's power come from?: An extended literature review. **Journal of Learning and Teaching in Digital Age**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 21–34, 2017. Disponível em: <http://joltida.org/index.php/joltida/article/view/44/109>.

OMRANI, Emad; MOGHADAM, Afsaneh Dorri; ALGAZZAR, Mahmoud; MENEZES, Pradeep L.; ROHATGI, Pradeep K. Effect of graphite particles on improving tribological properties Al-16Si-5Ni-5Graphite self-lubricating composite under fully flooded and starved lubrication conditions for transportation applications. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S. l.], v. 87, n. 1–4, p. 929–939, 2016. DOI: 10.1007/s00170-016-8531-6. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00170-016-8531-6>.

OWUNA, F. J. et al. Chemical modification of vegetable oils for the production of biolubricants using trimethylolpropane: A review. **Egyptian Journal of Petroleum**, [S. l.], v. 29, n. 1, p. 75–82, 2020. DOI: 10.1016/j.ejpe.2019.11.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1110062119300273>.

PATIL, Pravin P.; GORI, Yatika; KUMAR, Ashwani; TYAGI, M. R. Experimental analysis of tribological properties of polyisobutylene thickened oil in lubricated contacts. **Tribology International**, [S. l.], v. 159, n. March, p. 106983, 2021. DOI: 10.1016/j.triboint.2021.106983. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.106983>.

RUDNICK, L. .. **Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology**. 2. ed. Boca Raton: LLC, 2013.

SÁNCHEZ, ANNIE ALEXANDRA CERÓN. Produção de ésteres alquílicos com potencial lubrificante por transesterificação enzimática do óleo de palmiste e álcoois superiores. [S. l.], p. 152, 2017.

SINGH, Paramvir; GOEL, Varun. Effect of bio-lubricant on wear characteristics of cylinder liner-piston ring and cam-tappet combination in simulated environment. **Fuel**, [S. l.], v. 233, n. May 2017, p. 677–684, 2018. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.06.092. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.06.092>.

SRINIVAS, V.; CHEBATTINA, Kodanda Rama Rao; PRANAY, G. V. S.; LAKKOJU, Babi; VANDANA, V. Tribological properties of polyol ester – commercial motorbike engine oil blends. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, [S. l.], n. xxxx, p. 0–9, 2020. DOI: 10.1016/j.jksues.2020.07.016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.016>.

SRIVASTAVA. **Advances in Lubricant Additives and Tribology**. 1. ed. [s.l.] : Tech Books International, 2009. Disponível em:

http://search.proquest.com/docview/226965417?accountid=8114%5Chttp://primo-direct-apac.hosted.exlibrisgroup.com/openurl/UNITEC/unitec_service_page?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&genre=unknown&sid=ProQ:ProQ%3Aasciencejournals&.

STABELINI, Delton. **Viscosidade do óleo: o que é e por que é importante?** 2019.

Disponível em: <https://blog.texaco.com.br/havoline/viscosidade-do-oleo/>. Acesso em: 5 jan. 2020.

STACHOWIAK, Gwidon; Batchelor. **Engineering tribology**. [s.l.] : Butterworth-heinemann, 2013.

SUDAN REDDY DANDU, M.; NANTHAGOPAL, K. Tribological aspects of biofuels – A review. **Fuel**, [S. l.], v. 258, n. August, p. 116066, 2019. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116066. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116066>.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino?** 2014. Disponível em:

<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 28 abr. 2020.

TUNG, Simon C.; MCMILLAN, Michael L. Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future. **Tribology International**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 517–536, 2004. DOI: 10.1016/j.triboint.2004.01.013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301679X04000362>.

VOITIK, RM. Realizing Bench Test Solutions to Field Tribology Problems by Utilizing Tribological Aspect Numbers. *In: Tribology: Wear Test Selection for Design and Application*. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International, 1993. p. 45-45–15. DOI: 10.1520/STP15964S. Disponível em: <http://www.astm.org/doiLink.cgi?STP15964S>.

WANG, Xinbo; ZHANG, Yafei; YIN, Zhongwei; SU, Yanjie; ZHANG, Yanping; CAO, Jun. Experimental research on tribological properties of liquid phase exfoliated graphene as an additive in SAE 10W-30 lubricating oil. **Tribology International**, [S. l.], v. 135, n. February, p. 29–37, 2019. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.02.030. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.02.030>.

WILBERT J. OLDS. **Lubricants, cutting fluids and coolants**. Boston.

ZAINAL, N. A.; ZULKIFLI, N. W. M.; GULZAR, M.; MASJUKI, H. H. A review on the chemistry, production, and technological potential of bio-based lubricants. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 82, n. June 2016, p. 80–102, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.004.

ZHANG, S. W. Investigation concerning the developing directions of tribology in China. **Tribology**, [S. l.], v. 21, n. 5, p. 321–323, 2001.

ZHANG, Si-wei. Green tribology: Fundamentals and future development. **Friction**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 186–194, 2013. DOI: 10.1007/s40544-013-0012-4. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s40544-013-0012-4>.

ZULHANAFI, P.; SYAHRULLAIL, S. The tribological performances of Super Olein as fluid lubricant using four-ball tribotester. **Tribology International**, [S. l.], v. 130, n. March 2018,

p. 85–93, 2019. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.09.013.

APÊNDICE A – ALGORITMO CARREGADO NO ARDUINO PARA LEITURA DOS DADOS DO TRANSDUTOR DE TORQUE E DE TEMPERATURA

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Wire.h> //Vem no Arduino já
//Neste caso é o pino 2, mais pode usar qualquer pino digital
#define ONE_WIRE_BUS 2

//Instacia o Objeto oneWire e Seta o pino do Sensor para iniciar as leituras
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
//Repassa as referencias do oneWire para o Sensor Dallas (DS18B20)
DallasTemperature sensor(&oneWire);

// Parte para o Excel
int linha=0;
int LABEL=1;
int valor=0;
int nada=0;

// SETUP sensor de TORQUE
#include "HX711.h"          // Biblioteca HX711
#define DOUT A0            // HX711 DATA OUT = pino A0 do Arduino
#define CLK A1            // HX711 SCK IN = pino A1 do Arduino
HX711 balanca;           // define instancia balança HX711
float calibration_factor = 42130; // fator de calibração aferido na Calibração
void setup(void)
{
  //Inicia a Serial PARA SENSOR TEMPERATURA E SENSOR TORQUE
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Hora, Temperatura[C],Torque [N.m],linha");
  //Serial.println("Sensor de temperatura Dallas DS18b20");
  //Inicia o objeto da biblioteca do Dallas
  sensor.begin();
  //Inicilização do sensor de torque especificamente e coleta de dados

```

```

balanca.begin(DOUT, CLK);

//Serial.println("Pressione t para Tara");      // imprime no monitor serial
balanca.set_scale(calibration_factor);          // ajusta fator de calibração
balanca.tare();                                 // zera a Balança
delay(2000);
}
void loop(void)
{
//COLETA DE DADOS DO SENSOR DE TEMEPRATURA
//Envia o comando para obter temperaturas
sensor.requestTemperatures();

// A temperatura em Celsius para o dispositivo 1 no índice 0 (é possível ligar varios sensores usando a
mesma porta do arduino)

float leitura=sensor.getTempCByIndex(0);

nada++;

linha=linha+1;// incrementa a linha no Excel para que o sensor pule de linha em linha

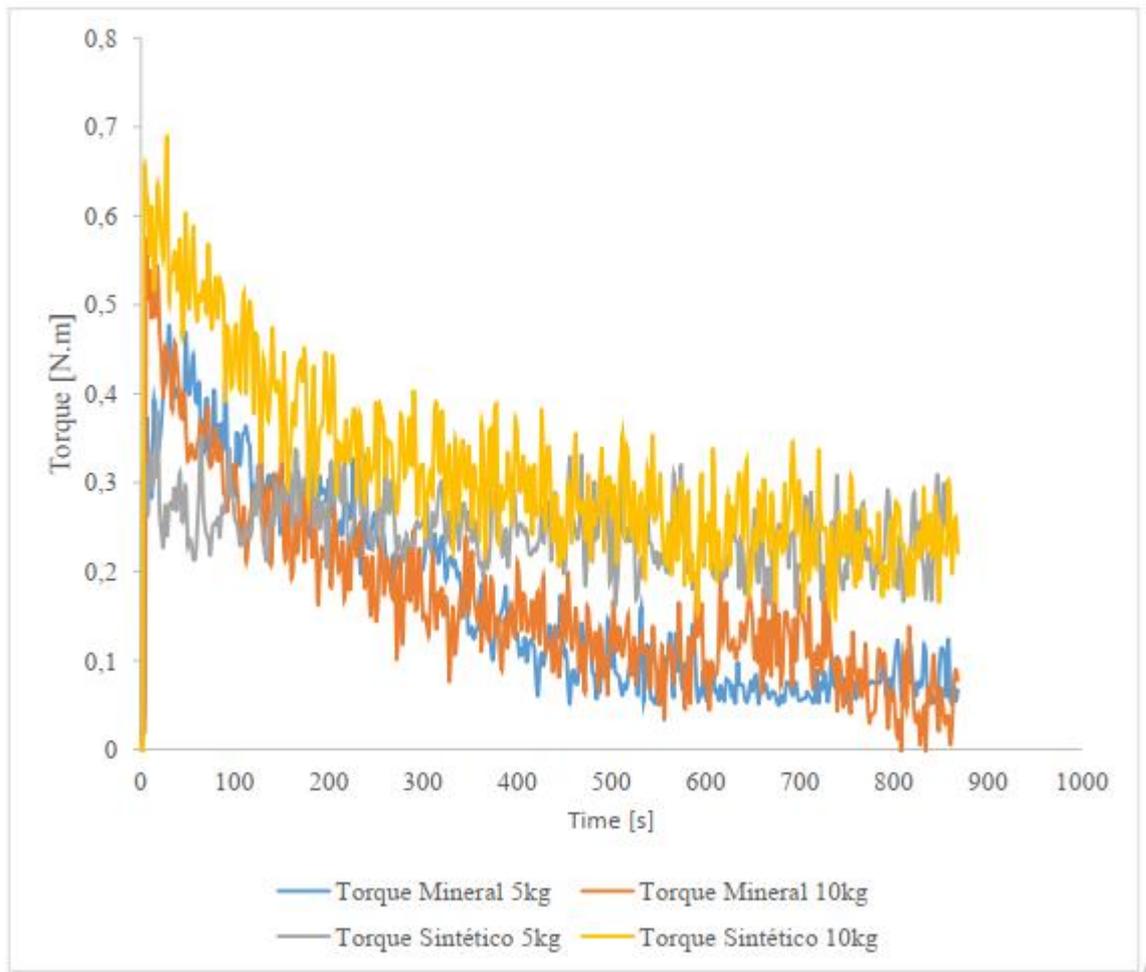
// A coleta de dados do sensor de torque já foi feita na variavel "balanca"
Serial.print("DATA,TIME,");
//Imprime na serial a varivel que recebe os dados do Sensor
Serial.print(leitura);
Serial.print(",");
Serial.print(balanca.get_units(), 3); // Imprime peso da balança com 3 casas decimais
Serial.println(linha);
delay(2000);
// Algoritmo que permite zerar a balança coma a SERIAL apertando "t" ou "T" para Tarar o sensor
if (Serial.available())                        // se a serial estiver disponível
{
char temp = Serial.read();                     // le carcter da serial
if (temp == 't' || temp == 'T')              // se pressionar t ou T
{
balanca.tare();                               // zera a balança
Serial.println(" Balança zerada");           // imprime no monitor serial
}
}
}

```

}

}

}

APÊNDICE B – TORQUE NO TESTE BC COM 15 MINUTOS DE TESTE

APÊNDICE C – VALORES DE TORQUE COM MÁQUINA FB DURANTE 15 MINUTOS DE TESTE

